

FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE DE LYON

Année scolaire 1938-1939. — N° 149.

LES PROBLÈMES MÉDICAUX

DE LA

NAVIGATION SOUS-MARINE

THÈSE

PRÉSENTÉE

A LA FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE DE LYON

Et soutenue publiquement le 29 Juin 1939

POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR EN MÉDECINE

PAR

Maurice LONGET

Né, le 19 Mai 1913, à Saint-Etienne (Loire)

Ancien Externe des Hôpitaux de Lyon

Interne des Hôpitaux de Saint-Etienne



LYON

SOCIÉTÉ ANONYME DE L'IMPRIMERIE A. REY

IMPRIMEUR DE L'UNIVERSITÉ

4, RUE GENTIL, 4

Juin 1939

LES PROBLÈMES MÉDICAUX

DE LA

NAVIGATION SOUS-MARINE



A MON PÈRE

A MA MÈRE

Nous leur devons tout. Ils nous ont donné l'exemple des plus belles vertus : notre idéal et notre fierté seront de toujours les imiter.

Grâce à eux nous avons pu effectuer dans les meilleures conditions nos études médicales et mener ce travail à bien : nous le leur dédions en témoignage d'immense reconnaissance et de profond amour filial.

A MES SŒURS

En signe de tendre affection.

A LA MÉMOIRE DE MES GRANDS-PARENTS

AUX MIENS

A TOUS MES AMIS



Digitized by the Internet Archive
in 2026

A NOTRE MAÎTRE ET PRÉSIDENT DE THÈSE

MONSIEUR LE DOYEN LÉPINE

Professeur de Clinique neuro-psychiatrique
à la Faculté de Médecine de Lyon.

Membre de l'Institut.

Associé National de l'Académie de Médecine.

Officier de la Légion d'Honneur.

Nous avons été l'objet de sa bienveillance
à plusieurs reprises au cours de nos études. Il
nous en a donné une nouvelle preuve en nous
faisant le très grand honneur de présider notre
Jury.

Qu'il nous permette de lui témoigner notre
plus vive reconnaissance.

A MONSIEUR LE PROFESSEUR CHALIER

Professeur de Clinique des maladies infectieuses
à la Faculté de Médecine de Lyon.

Médecin des Hôpitaux.

Chevalier de la Légion d'Honneur.

Nous avons conservé un excellent souvenir d'un semestre d'Externat passé dans son service où son enseignement pratique nous a été précieux. Nous sommes heureux qu'il ait accepté d'être parmi nos juges ; nous tenons à lui adresser nos remerciements et l'expression de notre profonde gratitude.

A MONSIEUR LE PROFESSEUR AGRÉGÉ DUMAS

Médecin des Hôpitaux.

Officier de la Légion d'Honneur.

Depuis qu'il a été notre Maître, il n'a cessé de s'intéresser à nous. Qu'il veuille bien trouver ici l'expression de notre grande reconnaissance pour l'honneur qu'il nous a fait en acceptant de juger notre thèse.

A MONSIEUR LE PROFESSEUR AGRÉGÉ DECHAUME

Médecin des Hôpitaux.

Nous le remercions vivement d'avoir bien voulu faire partie de notre Jury.

A MONSIEUR LE DOCTEUR PALLASSE

Médecin des Hôpitaux.

Il nous a accueilli dans son service tout au début de nos études et n'a cessé d'être pour nous un Maître bienveillant et un conseiller sûr. Nous n'oublierons jamais son enseignement plein de bonhomie, d'esprit et de bon sens. Nous lui savons gré du rôle qu'il a joué dans notre formation médicale et lui disons notre profonde admiration et notre reconnaissance pour tous les services qu'il nous a rendus.

A MONSIEUR LE MÉDECIN PRINCIPAL

QUERANGAL DES ESSARTS

Médecin spécialiste des Hôpitaux de la Marine.

Chevalier de la Légion d'Honneur.

Il a bien voulu s'intéresser à nous au cours de notre stage dans son laboratoire à l'Hôpital maritime de Brest. Depuis, il nous a guidé dans l'élaboration de ce travail en nous faisant bénéficier de sa haute culture scientifique et de son immense expérience. Nous le prions d'accepter l'hommage de notre gratitude et de notre profond respect.

A MONSIEUR LE MÉDECIN PRINCIPAL BONNET

Médecin-major de la Défense du Littoral de Brest.

Chevalier de la Légion d'Honneur.

Nous conserverons le meilleur souvenir des mois passés à ses côtés. Il a su, par sa grande bienveillance, favoriser nos recherches et rendre intéressant notre séjour dans la Marine. Nous lui en exprimons nos sentiments bien reconnaissants.

A MONSIEUR LE CAPITAINE DE VAISSEAU LOYER

Commandeur de la Légion d'Honneur.

Il s'est efforcé de rendre notre séjour à Brest agréable et nous a facilité beaucoup de démarches. Nous garderons un souvenir ému de sa grande bonté et de son affabilité.

AUX ETATS-MAJORS DE LA DÉFENSE DU LITTORAL DE BREST ET DE LA 2^e FLOTTE DE SOUS-MARINS.

Nous avons trouvé auprès de ces Officiers un accueil toujours bienveillant. Grâce à eux, nous avons pu obtenir de nombreux documents et mener à bien la partie technique de notre travail. Qu'ils daignent trouver ici le témoignage de notre admiration et de notre profond respect.

AUX EQUIPAGES DE LA FLOTTE SOUS-MARINE

A NOS MAÎTRES DANS LES HÔPITAUX

LYON

MONSIEUR LE DOCTEUR PALLASSE

MONSIEUR LE PROFESSEUR LERICHE

MONSIEUR LE DOCTEUR RICARD

EXTERNAT

MONSIEUR LE PROFESSEUR COLLET

MONSIEUR LE PROFESSEUR LÉPINE

MONSIEUR LE PROFESSEUR TIXIER

MONSIEUR LE PROFESSEUR AGRÉGÉ DUMAS

MONSIEUR LE DOCTEUR BOUCHUT

MONSIEUR LE PROFESSEUR CHALIER

SAINT-ÉTIENNE. — INTERNAT

MONSIEUR LE DOCTEUR ARNAUD

LES PROBLÈMES MÉDICAUX

DE LA

NAVIGATION SOUS-MARINE

INTRODUCTION

Par un heureux concours de circonstances, nous avons été amené, au cours de notre service militaire comme médecin auxiliaire de la Marine, à nous intéresser aux sous-marins. Nous avons même pu, grâce à la bienveillance des officiers de la 4^e Escadrille, basée sur Brest, goûter un peu à cette vie si particulière : de là est née l'idée de ce travail qui sera le couronnement de nos études médicales.

Les conditions très spéciales de vie à bord des sous-marins, paradoxales même, ne sont pas sans poser de nombreux problèmes de physiologie, d'hygiène, voire de pathologie générale. Comment, en effet, permettre à des hommes de vivre sous l'eau de longues heures, les nerfs tendus, soumis à de durs efforts dont peut dépendre le salut de la Patrie, sans les exposer à d'inutiles dangers ? Voilà ce que nous avons résolu d'étudier.

On a dit ironiquement que la navigation sous-marine était un défi lancé à l'hygiène : ce n'était que trop vrai lorsque, à la fin du siècle dernier, les premiers sous-mariniers osèrent s'enfermer dans les flancs de ces nouveaux monstres et se plonger sous les houles vertes des océans.

Que de difficultés à vaincre ! Mais que de victoires les prodigieux efforts des marins, des techniciens, des hygiénistes ont remportées ! Hélas, suivant une loi inexorable, les immenses progrès accomplis ont eu pour rancçon inévitable de nombreuses pertes de vies humaines. Qu'il nous soit permis, au début de ce travail, d'évoquer, avec émotion, la mémoire de tous ceux qui, pour le service de leur pays, sont restés tragiquement emmurés dans leur cercueil d'acier et dorment au sein des flots.

Notre étude, disons-le de suite, ne peut être qu'une modeste mise au point, un simple aperçu des progrès réalisés depuis près de cinquante ans. Nous nous excusons des imperfections, des oublis, des erreurs même qui auraient pu se glisser, malgré nos soins, dans ces pages et nous sollicitons beaucoup d'indulgence. Il nous a fallu, en effet, toucher à des problèmes souvent bien vastes, toujours très variés.

Après un aperçu historique et quelques généralités sur l'arme sous-marine, nous passons en revue la plupart des grandes questions capables d'intéresser le médecin : aération, ventilation, logement, alimentation, accidents et maladies observés à bord. Il nous a paru intéressant, en outre, d'étudier le problème du sauvetage qui, ainsi qu'on le pense, a retenu l'attention de toutes les Marines et a pu, en quelques circonstances

tragiques que nous relaterons, sortir du domaine de la théorie.

Nous avons eu la joie et la fierté de constater que notre flotte sous-marine possède actuellement des bâtiments sur lesquels le génie naval est parvenu à concilier le bien-être et la sécurité des équipages avec les meilleures qualités militaires d'une arme conçue pour être redoutable.

Nous ne saurions trop dire combien nous sommes reconnaissant à tous ceux qui nous ont aidé dans ce travail : commandants d'unités, officiers, médecins, pharmaciens-chimistes de la marine. Notre admiration est grande pour la valeur de ceux qui nous ont donné accès aux bâtiments qu'ils dirigent avec maîtrise, compétence et sang-froid. Le bon esprit et la discipline des équipages nous ont conquis. A tous nous dédions cette thèse, modeste mais sincère témoignage de notre profonde estime. Puissent ces pages contribuer quelque peu au service de la Patrie que nous aimons passionnément.

PREMIÈRE PARTIE

GÉNÉRALITÉS

CHAPITRE PREMIER

HISTOIRE RÉSUMÉE DE LA NAVIGATION SOUS-MARINE

Bien avant Jules VERNE et son mystérieux Capitaine NEMO, les hommes eurent l'idée — le contraire semblerait surprenant — de la navigation sous-marine, comme d'ailleurs de s'élever dans les airs. Roger BACON avait, au XIII^e siècle, prédit ces découvertes et beaucoup d'autres encore. Il paraît bien établi que ces problèmes ont captivé, depuis l'Antiquité, l'esprit des savants. Sans doute, les moyens primitifs dont ils disposaient ne permirent pas leur réalisation, mais souvent la solution fut entrevue. Le siècle dit des grandes découvertes devrait plutôt être qualifié de siècle des réalisations : tout avait été imaginé, pensé, souvent calculé. « Tout est dit, et l'on vient trop tard depuis plus de sept mille ans qu'il y a des hommes, et qui pensent » écrivait LA BRUYÈRE.

LES PRÉCURSEURS. — ARISTOTE rapporte, en effet, qu'en 332 avant Jésus-Christ, des marins d'ALEXANDRE LE GRAND auraient utilisé, à la bataille de Tyr, un curieux

engin permettant à un homme de plonger et d'aller porter sous les navires ennemis des bombes incendiaires.

Une autre tentative, plus récente, fut celle du Hollandais CORNELIS VAN DREBBEL D'ALKMAAR, inventeur du thermomètre, médecin du roi d'Angleterre qui, en 1624, construisit une sorte de sous-marin en bois : cet appareil était mû, en plongée, par douze rameurs. L'inventeur sut mettre à profit la confiance du roi pour effectuer une plongée dans la Tamise. Naturellement, le problème de la régénération de l'atmosphère s'était posé, et VAN DREBBEL prétendait avoir trouvé une substance secrète, liquide, qu'il appela « quintessence de l'air ». Quelques gouttes de ce produit répandues dans le sous-marin étaient, paraît-il, capables, par évaporation, de rendre l'air respirable.

A la suite de cette tentative, entourée de beaucoup de mystère, le ^{xvii}e siècle et le début du ^{xviii}e virent des projets souvent fort ingénieux, mais qui ne purent jamais aboutir à la moindre réalisation pratique.

La « TORTUE » de BUSHNELL. — L'Américain David BUSHNELL (1742-1826) eut un rôle capital dans l'histoire de la navigation sous-marine. On lui doit la construction du premier sous-marin. En 1776, après cinq ans d'étude, il construisit un sous-marin qu'il appela la *Tortue*. C'était un appareil ovoïde en bois et en cuivre de 2 m. 50 de diamètre environ qui ne pouvait contenir qu'un seul homme. La coque en bois présentait l'aspect de deux écailles de tortue accolées par la partie plate et placées verticalement. Extérieurement une mine était placée, pouvait être détachée et fixée au moyen d'une vis à bois sur la

coque d'un navire ennemi. La *Tortue*, qui déplaçait 8 tonnes, faillit jouer un rôle dans la guerre de l'Indépendance américaine : malheureusement, de nombreuses imperfections paralysèrent son action. Une tentative fut cependant entreprise pour couler une frégate : la vis de fixation rencontra une pièce résistante de l'étambot, ce fut l'échec.

Le « NAUTILUS » de FULTON. — L'Américain FULTON, créateur de la navigation à vapeur, reprit la question et présenta un projet, d'abord au Directoire qui le rejeta à deux reprises (1796 et 1798), puis au Premier Consul en 1800. La Commission nommée par BONAPARTE émit une opinion favorable, et la construction put être entreprise. Le *Nautilus* avait 6 m. 50 de long, 2 mètres de diamètre et déplaçait 19 tonnes ; sa coque était doublée de réservoirs d'eau ; il naviguait en surface en utilisant une voile grée sur un mât rabattable au moment de la prise de plongée. En navigation sous-marine, une hélice à quatre pales manœuvrée à la main par une manivelle assurait la propulsion. L'éclairage en plongée se faisait à la chandelle. Lors d'expériences faites à Brest, le *Nautilus*, qui portait 3 hommes, prit la plongée en 2 minutes, demeura immergé 5 heures, atteignit 2 nœuds, et, en août 1801, fit sauter un vieux brick mouillé en rade. Le Gouvernement français mit un veto à la continuation des essais, déclarant « cette manière de combattre si répréhensible que les personnes qui tom-
beraient aux mains de l'ennemi, après l'avoir adoptée, ne pourraient qu'être empalées ». Son invention étant refusée en France, FULTON la proposa à l'Amirauté

anglaise, qui en déclina l'offre pour raisons de moralité.

Que pensait-on, à ce moment, des essais entrepris ?

Le sous-marin fut l'objet d'une réprobation quasi universelle. En 1805, Sir HOWARD DOUGLASS publia dans le « Naval Chronicle » une série d'articles dans lesquels il traitait FULTON de « scélérat lâche et sanguinaire » ; il ajoutait, rééditant les craintes de MONTAIGNE et de MONTLUC lors de l'apparition de l'artillerie : « Ainsi, « dans l'avenir, on pourra se battre sous l'eau ! Nos « invincibles vaisseaux de ligne devront céder la place « à des engins horribles et inconnus, nos frégates à des « mines sous-marines, nos pilotes à des plongeurs, nos « hardis matelots à des assassins sous-marins ! ». Et PITT, épouvanté, renchérit : « Si ce moyen de combattre « était employé, c'en serait fait des marines militaires ». Il semblait inconcevable aux Lords de l'Amirauté que l'on pût se battre sur mer d'une autre façon que celle employée jusqu'alors, et qui avait si bien réussi à leur pays. De plus, les marins se méfiaient de cet engin capable de naviguer seulement le long du littoral et par temps calme.

Hélas, pas plus que pour l'artillerie à la fin du Moyen-Age, ces cris d'horreur ne purent enrayer la marche inexorable des événements : nous avons vu le même échec se produire quand les premiers gaz toxiques furent employés en 1915.

Le « BRANDTAUCHER » et le « DIABLE MARIN ». — Ni les craintes de l'opinion publique, ni mêmes les sarcasmes de la Presse ne pouvaient enrayer les progrès inéluctables de la construction sous-marine. L'officier  bavar.

BAUER construisit en 1850 et 1855 deux nouveaux engins, le *Brandtaucher* et le *Diable Marin* : ceux-ci présentaient des aménagements nouveaux. Des ballasts placés dans les doubles-fonds servaient de réservoirs d'immersion, et un poids, par son déplacement sur un curseur, assurait la stabilité longitudinale (assiette) ; sur le *Diable Marin* se trouvaient un lest de sécurité et un sas de scaphandrier.

Le « PLONGEUR ». — Conçu par le capitaine de vaisseau BOURGOIS et l'ingénieur de la Marine BRUN, construit, puis lancé à Rochefort en 1863, ce sous-marin présentait des proportions bien supérieures à celles des précédents : il avait 42 m. 50 de long, 6 mètres de large et déplaçait 420 tonnes en surface. C'était le premier sous-marin à moteur : l'air comprimé assurait la propulsion (5 nœuds en surface, 4 nœuds en plongée). La plongée était prise très difficilement et très mal tenue, malgré deux gouvernails horizontaux et une hélice verticale.

LES SOUS-MARINS « DAVID », 1863. — Construits par les Américains du Sud pendant la guerre de Sécession, ces sous-marins, en raison de leur petite taille et de la crainte que l'arme nouvelle inspirait, reçurent le nom biblique de *David*. Les premiers, mus par une machine à vapeur, naviguaient à fleur d'eau (sous-marins torpilleurs). Les types suivants, propulsés par une hélice mue à bras par 8 hommes, possédaient un gouvernail de profondeur à l'avant : plus perfectionnés, ils étaient

capables de faire de courtes plongées et déplaçaient une vingtaine de tonnes. L'un d'eux parvint à couler, en 1864, la corvette fédérale *Housatonic*; mais sa propre perte fut la rançon de son succès.

LES SOUS-MARINS ÉLECTRIQUES DE DRZEWIECKI. — Décidément, le monde entier s'intéressait aux sous-marins. La Russie, en 1876, en la personne de DRZEWIECKI, apporta sa contribution à l'étude de la navigation en immersion. Une cinquantaine de bâtiments furent construits; certains d'entre eux étaient dotés d'accumulateurs et de moteurs électriques. Une particularité fort intéressante faisait, en même temps, son apparition : un tube optique à prismes réfléchissants annonçait le périscope. Malheureusement, la faible vitesse et les dimensions minuscules de ces engins les privaient de toute valeur militaire; ils furent abandonnés en 1886.

LES SOUS-MARINS A VAPEUR DE NORDENFELD. — Un submersible de 60 tonnes, à machine à vapeur pour la navigation en plongée et en surface, fut mis en chantier à Stockholm en 1884 par le Suédois NORDENFELD. Il avait 20 mètres de long, 3 m. 50 de large; propulsé par une machine de 10 CV, il atteignait 9 nœuds en surface. L'immersion s'obtenait en remplissant un ballast de 4 tonnes et en faisant agir 2 hélices verticales; il avait des gouvernails horizontaux. En plongée, la vitesse de 4 nœuds pouvait être obtenue pendant 4 heures. Avec ce sous-marin, on assiste à l'apparition d'une arme nouvelle : la torpille automobile inventée par l'Autrichien WHITEHEAD en 1865.

Le « GYMNOTE ». — Petit à petit, l'arme sous-marine fait son chemin. En 1886, un nouveau bâtiment est mis en chantier à Toulon sous le Ministère de l'Amiral AUBE. Construit sur les plans de DUPUY DE LOME et de l'Ingénieur de la Marine Gustave ZÉDÉ, sous la direction de ROMAZZOTTI, Ingénieur de la Marine, ce nouveau sous-marin est lancé en 1888, dix ans après l'apparition du premier torpilleur.

Ce fut le premier bâtiment de ce genre à avoir donné satisfaction ; c'est pourquoi il mérite une place toute particulière dans l'histoire de la navigation sous-marine. C'était un fuseau de 20 mètres de long sur 1 m. 83 de diamètre, déplaçant 31 tonnes. Son hélice, mue par un moteur électrique de 50 CV alimenté par des accumulateurs PLANTÉ, lui assurait une vitesse de 7 nœuds en surface et de 5 nœuds en plongée. La tenue en plongée fut reconnue excellente au cours de nombreux essais faits à Toulon. Ce sous-marin était divisé en deux compartiments, séparés par une porte étanche. Le premier compartiment communiquait avec l'extérieur par un trou d'homme. Le deuxième compartiment possédait, de chaque côté, deux séries d'accumulateurs que séparait un passage de quelques centimètres à peine. Il y avait à bord des caisses à air comprimé destinées à renouveler l'atmosphère du sous-marin et à chasser l'eau des caisses d'immersion pour le retour en surface.

Bâtiment d'essais et d'expériences, le *Gymnote*, malgré sa faible valeur militaire, avait résolu le problème complexe de la navigation sous-marine.

Le « GUSTAVE ZÉDÉ ». — Peu de temps après la mise

à flot du *Gymnote*, la Marine mit en chantier un nouveau sous-marin sur les plans de ROMAZZOTTI (1889). Après une mise au point de plusieurs années, pendant lesquelles furent résolues de nombreuses difficultés relatives à la plongée et à la remontée en surface, le *Gustave Zédé*, appelé d'abord *la Sirène*, fut lancé à Toulon le 1^{er} juin 1893 ; il déplaçait 262 tonnes et parvint, grâce à son moteur électrique de 720 chevaux, à dépasser 12 nœuds en surface et 5 nœuds en plongée. Il possédait un tube lance-torpille d'étrave de 450 millimètres et deux torpilles de réserve. Ce fut le premier sous-marin du monde qui parvint à atteindre un but en marche : il réussit, en effet, à lancer une torpille d'exercice sur le *Magenta* filant 10 nœuds. De ce jour, l'arme sous-marine put être considérée comme un véritable instrument de guerre.

Encouragées par ce succès, toutes les Marines du Monde suivirent le mouvement : les Etats-Unis avec le *Holland* et le *Protector*, l'Italie avec le *Delfino*, le Portugal avec le *Plongeur*. La France, poursuivant ses efforts, lançait bientôt à Cherbourg le *Morse*, construit sur les plans du *Gymnote*.

LE CONCOURS DE 1896. — « Ce nouveau genre de bâtiments est peut-être appelé à un grand avenir ; mais, « pour le moment, il ne donne que des espérances ». Telle était, en 1896, l'opinion des Docteurs J. ROCHARD et D. BODET dans leur *Traité d'Hygiène, de Médecine et de Chirurgie Navales*. Autorisées par des succès encourageants, ces expériences allaient très vite se muer en réalités. En 1896, le Ministre de la Marine, Edouard LOCKROY, ouvrit un concours sur les bases suivantes :

déplacement maximum 200 tonnes ; vitesses : en surface 12 nœuds, en plongée 8 nœuds ; armement 2 torpilles parées pour le lancement.

Les trois projets suivants furent retenus, le dernier, en particulier, eut un retentissement considérable :

Le *Morse* de ROMAZZOTTI.

Le *Farfadet* de l'Ingénieur de la Marine MAUGAS.

Le *Narval*, de l'Ingénieur du Génie Maritime LAUBEUF.

Le « NARVAL ». — Considérant le problème de la plongée comme résolu, LAUBEUF s'attacha surtout à l'étude de la navigation en surface : il présentait son projet sous le nom de « torpilleur submersible », pour bien montrer qu'il entendait assurer à son navire un déplacement en surface satisfaisant. Deux points avaient tout particulièrement été étudiés : la propulsion et la coque.

La propulsion était assurée par un moteur électrique avec accumulateurs en plongée, par une machine à vapeur capable de recharger les accumulateurs, en surface. Ainsi, le *Narval* était le premier submersible autonome. Il servit de prototype à de nombreux bâtiments.

La coque était prévue pour assurer au bâtiment une excellente tenue à la mer ; contrairement à ceux de ses prédécesseurs, les ballasts du *Narval* étaient extérieurs à la coque résistante. De ce mode de construction, résultait une flottabilité énorme (42 %), lui permettant de naviguer en surface comme un autre navire.

Le submersible avait 34 mètres de long, 3 m. 75 de large et déplaçait 120 tonnes en surface et 200 tonnes en plongée. Le jour de son lancement (21 octobre 1899) marque une date mémorable dans l'histoire de la navigation sous-marine qui devait bientôt subir un prodigieux développement. Les essais dépassèrent même parfois les exigences du programme, mais l'inconvénient majeur était de plonger lentement (près de 15 minutes : sur les types suivants, le temps de plongée s'abaissa jusqu'à 5 minutes).

Sous-marins et submersibles. — Après les résultats de ce concours qui consacraient en quelque sorte l'arme nouvelle, la navigation sous-marine fit de rapides progrès et de nombreux bâtiments, dérivés des trois prototypes : *Morse*, *Farfadet* et *Narval*, furent mis en chantier. Il y eut, pendant un temps, une sorte de rivalité entre les sous-marins qui ne naviguaient qu'en plongée et les submersibles capables de naviguer également en surface. A partir de 1909, on ne construisit plus que des submersibles, mais l'appellation réglementaire consacrée par l'usage est cependant restée celle de sous-marin. Il n'y eut plus alors de types entièrement nouveaux : la voie était largement tracée et, quand la Guerre éclata, l'arme sous-marine était parée de côté et d'autre à jouer le rôle prodigieux qui a failli décider du sort des belligérants.

Déjà, avant la Guerre, des croisières d'endurance avaient été entreprises : en 1912, le *Faraday* avait pu couvrir la distance Rochefort-Toulon (3204 kilomètres) en 7 jours $\frac{1}{2}$ sans escale, et, en 1913, le *Delphin* était

allé de Toulon au Pirée, parcourant 2.038 kilomètres, également sans escale (1).

LES SOUS-MARINS ET LA GUERRE DE 1914-1918. — La puissance combattive des sous-marins eut largement l'occasion de s'affirmer au point de se transformer bien vite en terrorisme. Ce sont les sous-marins allemands qui ont joué le rôle principal au cours de croisières d'endurance qui les amenèrent à leur campagne sous-marine de lutte sans restriction. Chacun songe, en lisant ces lignes, au torpillage du *Lusitania* par l'*U-20* le 7 mai 1915, à la destruction de nos cuirassés *Gaulois*, *Danton*, *Suffren*, mais ce qu'on sait moins, c'est l'étendue des ravages ; les commandants de sous-marins allemands avaient reçu l'ordre de couler, à partir de 1917, sans aucune exception, tous les navires, quels qu'ils fussent, de guerre ou de commerce, de manière à empêcher tout transport de troupes et à affamer les Alliés. Ils furent même classés, en une sorte de concours tragique, suivant le tonnage global coulé : le commandant de l'*U-35* LOTHAR VON ARNAULD DE LA PERIÈRE arriva en tête avec deux cents bâtiments, représentant cinq cent mille tonnes. L'Amiral américain SIMS dans sa « Victoire sur Mer » a écrit : « Si l'Allemagne avait pu avoir constamment cinquante sous-marins à l'œuvre sur les grandes routes commerciales, pendant l'hiver et le printemps 1917, rien n'eût

(1) Toutefois, les Etats-Majors étaient encore incertains, voire sceptiques, sur les services que pourraient rendre les sous-marins. En 1912, passant une Inspection à Kiel, l'Amiral VON TIRPITZ, Commandant en Chef les forces navales allemandes, aurait dit : « Il ne faut pas se dissimuler que les sous-marins sont une amusette très coûteuse. » (in Max Valentiner, la Terreur des mers, page 25, Payot).

« pu lui empêcher de gagner la guerre ». En effet, en février 1917, plus de 500.000 tonnes furent détruites, 600.000 en mars, et en avril, après l'entrée en guerre des Etats-Unis, le total s'éleva à 1.000.000 de tonnes. La situation déjà tragique devint presque désespérée et, sans même que le public pût s'en douter, la famine était prévue ; la flotte commerciale des Anglais et des Alliés était sur le point de disparaître ; l'Allemagne construisait de nouveaux sous-marins en nombre prodigieux. Si les Autorités navales anglo-américaines n'avaient organisé les transports en convois zigzaguant, protégés par des torpilleurs, c'en était fait du trafic maritime. L'Allemagne gagnait la guerre en affamant ses adversaires. On trouvera dans le très intéressant ouvrage d'Andréas MICHELSEN « La Guerre sous-marine » (Payot), un exposé détaillé des dégâts commis par les flottilles allemandes et des pertes qu'elles ont subies, et l'on n'aura pas de peine à se convaincre du rôle joué par elles pendant la Grande Guerre.

Les sous-marins alliés ont eu une importance beaucoup plus modeste, n'ayant pas eu, comme leurs adversaires, à semer la terreur et la ruine sur les grandes routes maritimes. Ils ont surtout patrouillé pour la défense du littoral, et n'ont participé qu'à de rares engagements. Du moins, certains sous-marins français se sont-ils couverts d'une gloire qui gagnerait à être plus connue du grand public. Nous citerons seulement le *Curie* commandé par le lieutenant de vaisseau O'BYRNE, et le *Monge* qui s'engloutit avec son commandant, Roland MORILLOT, soucieux avant tout d'empêcher son bâtiment de tomber aux mains de l'ennemi.

CHAPITRE II

L'HYGIÈNE A BORD DES SOUS-MARINS JUSQU'A LA FIN DE LA GUERRE

1^o JUSQU'A LA GRANDE GUERRE

On comprend aisément que, dans leur ouvrage « L'Hygiène dans la Marine de Guerre moderne », paru en 1905, P. COUTEAUD et H. GIRARD n'aient consacré qu'une demi-page aux sous-marins : « On manque encore « de données sur les inconvénients hygiéniques de la « navigation sous-marine », ont-ils écrit pour s'excuser.

A cette époque, les flottilles de sous-marins commençaient à peine à s'organiser et tout était encore rudimentaire. Les séjours à bord étaient évidemment de courte durée. Très vite, cependant, il fallut se préoccuper des questions d'hygiène parmi tant d'autres. Les problèmes techniques se compliquaient sans cesse de problèmes physiologiques : il fallait assurer la vie du personnel pour augmenter la valeur militaire des sous-marins. Comme nous l'avons dit, on distinguait encore à ce moment les « torpilleurs plongeurs » ou « submersibles » et les sous-marins proprement dits. Les premiers, relativement vastes, étaient plus confortables, mieux

aérés ; leur effectif était de 11 hommes, les sous-marins, eux, n'en comptaient que 5.

AÉRATION ET RÉGÉNÉRATION DE L'ATMOSPHÈRE. — Dès le début, l'aération et la régénération de l'air en plongée avaient attiré l'attention. L'existence de machines à vapeur pour la propulsion en surface était la source d'une rapide viciation de l'atmosphère par les dégagements d'acide carbonique et même d'oxyde de carbone. On avait alors imaginé l'extraction de l'acide carbonique et le remplacement de l'oxygène par un moyen chimique ; en particulier, le renouvellement de l'oxygène était assuré par décomposition de bioxyde de sodium ou de peroxyde de sodium et de potassium en présence d'eau froide. L'oxygène mis ainsi en liberté pouvait remplacer celui que la respiration et la combustion dans les machines avaient consommé, pendant que la soude, formée au cours de la même réaction, fixait l'acide carbonique de l'air expiré.

Plusieurs appareils avaient été mis en service : en particulier, celui de DESGREZ et BALTHAZARD (Nouvelle méthode de régénération de l'air confiné, *Annales d'Hygiène publique et de Médecine légale*, 1902) ; leur dispositif réalisait automatiquement et assez régulièrement la dissolution d'une quantité de bioxyde de sodium nécessaire pour un nombre d'hommes donné.

CONDITIONS GÉNÉRALES DE VIE A BORD. — Le mode de vie à bord, au début du siècle, était des plus rudimentaires. Des travaux sur l'habitabilité avaient été entrepris en 1905 par J. REGNAULT et MOULINIER,

médecins de la Marine. Aucun confort n'était possible dans des espaces aussi restreints, les sorties en mer étant réduites à de simples exercices. Aussi, vivait-on peu à bord. Certains sous-marins annonçaient cependant déjà la possibilité de séjours prolongés : le *Protector*, dérivé du type *Holland*, en service dans la Marine des Etats-Unis, en 1905, avait de l'air respirable pour 3 jours. Si le bâtiment était peu immergé, on pouvait se contenter de l'éclairage naturel : les hublots laissaient en effet pénétrer une lumière verdâtre permettant de lire un journal à une profondeur de 12 mètres. L'atmosphère était froide et humide et le chauffage artificiel parfois nécessaire : on avait bien imaginé des appareils électriques de chauffage, mais ces installations consommaient une telle énergie qu'on préférait s'en passer plutôt que de diminuer, par leur usage, le rayon d'action du navire ; ils étaient donc peu employés, et l'équipage souffrait du froid.

On consommait surtout des conserves et l'on pouvait faire une cuisine sommaire sur des réchauds électriques. Les bouteilles et les poulaines (1) avaient une double fermeture à clapet et pouvaient être rincées ; toutefois, dans la Marine française, les lieux d'aisances étaient constitués par un simple seau hygiénique. L'équipage n'avait à sa disposition qu'un espace fort étroit : il y avait quelques sièges, une table pliante et un lavabo sur les plus grands sous-marins ; sur les petits, l'homme devait obligatoirement se tenir à son poste pendant toute

(1) Ces termes ont une signification analogue et désignent les lieux d'aisances.

la traversée : en se déplaçant, il pouvait, en effet, déterminer une rupture d'équilibre, un changement d'assiette et un roulis désagréable, voire dangereux. Le travail aux machines était très pénible, car leur compartiment était étroit et d'accès difficile. Pendant les premiers temps du séjour à bord, les matelots souffraient d'angoisse et présentaient un abattement avec vertiges, bourdonnements d'oreilles, nausées, mais, petit à petit, ils parvenaient à s'habituer à ce genre de vie anormale. Toutefois, ils étaient anémiés et leur teint pâle et blafard contrastait avec les couleurs des autres marins.

APTITUDE PHYSIQUE. — Comme aujourd'hui, on se montrait, avec juste raison, difficile pour les conditions physiques du service à bord des sous-marins. Dès 1905, le Dr J. REGNAULT (1) avait dressé une liste des affections entraînant l'inaptitude ; elles étaient d'ailleurs à peu près les mêmes qu'aujourd'hui. Mais il insistait sur l'acuité olfactive, l'absence d'anosmie étant indispensable pour que l'homme puisse percevoir les fuites de gaz ou de vapeurs diverses susceptibles de se produire à bord.

ACCIDENTS. — Cela nous conduit à parler des accidents qui étaient alors malheureusement nombreux. Les fuites de gasoline, utilisée alors comme carburant sur les sous-marins anglais, avaient provoqué plusieurs explosions. A propos d'un de ces accidents, « The Illus-

(1) Aptitude physique pour le service à bord des sous-marins. Archives de Médecine Navale 1905, tome 84, page 161.

trated London News » a relaté comment on employait des souris blanches qui, par leur agitation, décelaient des fuites dangereuses. Ce combustible était inusité sur les sous-marins français de 1905.

Un autre danger résidait dans la possibilité de rupture des réservoirs d'air comprimé : « Les dangers sont si « grands dans les sous-marins », écrit le D^r BELLI (1), « qu'il n'y faut comme commandants et comme équipages que des hommes irréprochables physiquement « et moralement, doués de nerfs exceptionnellement « bons ». L'hydrogène provenant des accumulateurs était à l'origine d'explosions ou d'incendies redoutables.

Les intoxications étaient, elles aussi, fort fréquentes par suite d'émanations diverses des machines ou des accumulateurs, et qu'une ventilation insuffisante laissait se répandre dans l'atmosphère intérieure. L'hydrogène arsénié ou antimonié, en particulier, faisait des ravages. Nous aurons d'ailleurs l'occasion de reparler en détail de ces intoxications. Nous les mentionnons seulement ici dans ce bref aperçu historique (2).

Quant aux catastrophes, plusieurs se sont rendues tristement célèbres. Aux accidents de navigation dont n'importe quel navire peut être victime, la plongée venait ajouter ses risques propres.

L'un des accidents les plus tragiques et qui émut

(1) D^r C. M. BELLI. Considérations hygiéniques sur les navires sous-marins. Archives de Médecine Navale 1905, tome 84, page 253.

(2) Pour éviter des redites, nous préférons revenir au cours de ce travail sur certains points historiques qu'il nous sera alors plus facile de préciser.

douloureusement l'opinion publique fut celui du *Farfadet*, coulé à Bizerte le 6 juillet 1905 à 500 mètres de l'Arsenal de Sidi-Abdallah. L'eau entra pendant la plongée, par suite de la mauvaise fermeture d'un panneau, et noya les hommes du compartiment correspondant. Les occupants des compartiments voisins purent fermer les portes étanches et vécurent 32 heures, mais moururent asphyxiés lorsque la provision d'air fut épuisée. Il ne fallut pas moins de 9 jours pour relever le bâtiment.

L'année suivante, ce fut le tour du *Lutin*, coulé devant Bizerte le 16 octobre 1906 par 36 mètres de fond, à la suite de la rupture des ballasts à l'intérieur, puis, le 26 mai 1910, celui du *Pluviôse* qui coula près de Calais, par 17 mètres.

La plupart des marines payèrent leur lourd tribut à ce mode nouveau de navigation. A la même époque, le sous-marin anglais *A-1* entra en collision avec un vapeur et coula avec tout son équipage.

Aussi, avait-on déjà imaginé des dispositifs ingénieux de sécurité et des appareils de sauvetage. C'est ainsi que sur le *Protector*, dont nous avons déjà parlé, existait un compartiment renfermant de l'air comprimé destiné à faire équilibre à la pression extérieure, permettant ainsi l'ouverture des panneaux de la coque et la création d'une issue à l'extérieur.

D'énormes progrès techniques se réalisèrent, nous l'avons dit, à partir de 1909. L'hygiène s'en ressentit favorablement; les bâtiments étaient devenus plus spacieux et la vie pouvait y sembler moins dure, mais l'amélioration très relative ne pouvait empêcher les

sous-mariniers de considérer avec envie les équipages des bateaux de surface. Voici ce que pensait de son bord un officier de sous-marin allemand en 1912 (1) : « On « était enfermé dans d'étroits locaux pleins d'air vicié, « soumis à de durs coups de roulis et de tangage, un « bateau à rames pouvait sembler un palais en comparaison de l'intérieur d'un sous-marin. Les accidents « étaient fréquents, surtout dans les marines étrangères, « et la mort en plongée par asphyxie était bien le sort « le plus épouvantable qu'on pût imaginer ».

2° ÉTUDE MÉDICALE DES SOUS-MARINS DE LA GUERRE

LE SERVICE A BORD. — La Guerre vint : nous savons le travail effectué par les sous-marins. Ce que put être la vie infernale des hommes surmenés, soumis aux affres du combat dans d'étroites coques traquées par les bâtiments de surface, nous avons peine à l'imaginer. Nous avons eu la chance de pouvoir interroger plusieurs anciens sous-mariniers de la Guerre et recueillir leurs souvenirs. Les conditions de vie étaient particulièrement dures, soit que, du côté des Alliés, les bâtiments eussent un rôle de surveillance incessant à exercer le long des côtes, soit, que du côté allemand, ils fissent des appa-

(1) LOWELL THOMAS. *Les Corsaires Sous-Marins*, Payot, Paris 1930.

reillages répétés et de longues croisières pour porter la dévastation sur les grandes voies du commerce maritime. La plongée était habituelle pendant le jour et les sous-marins ne faisaient surface qu'à la nuit tombante pour recharger leurs accumulateurs.

Un sous-marin français basé sur Brindisi appareillait ainsi trois jours puis rentrait au repos. Comme en plein été il y avait 18 heures de jour, il restait en plongée 54 heures sur 72.

L'hydrogène arsénié venait encore ajouter ses méfaits en se répandant dans toute l'atmosphère intérieure par l'intermédiaire des ventilateurs. Provenant des batteries vieilles, ce toxique avait pour origine le métal arsénical des plaques et surtout des grilles d'accumulateurs. Nous verrons au chapitre technique des viciations de l'atmosphère intérieure, comment on le décelait alors et comment on est parvenu à en éviter, de nos jours, la production. Parlons seulement ici des effets nocifs du gaz sur l'organisme. Il se dégageait principalement pendant la charge et la décharge des accumulateurs, l'intoxication était en partie subordonnée à des facteurs individuels : vacuité ou réplétion de l'estomac, modification de la tension artérielle, alimentation, état antérieur du foie et des reins. Les symptômes de l'empoisonnement par l'hydrogène arsénié ont été bien étudiés dans la thèse d'ARNOULD (1917), où sont décrites trois formes : une forme aiguë, grave, provoquant l'anurie, une forme subaiguë, légère, et une forme chronique. En pratique, l'intoxication frappait surtout l'appareil digestif : au bout de 3 ou 4 heures de plongée l'équipage ressentait des malaises vagues bientôt compliqués d'inappétence,

de vomissements et de diarrhée. Certains hommes, plus gravement atteints, présentaient parfois des hématuries, de l'ictère et, si l'intoxication passait à la chronicité, du purpura et même des signes d'anémie sérieuse, par destruction hémolytique des hématies et diminution du pouvoir fixateur de l'hémoglobine du sang par l'oxygène, comme cela était constaté par des examens périodiques du sang. ARNOULD a rapporté un cas de paralysie radiculaire supérieure du plexus brachial, du type DUCHENNE-ERB. Pendant les trois jours de mer, les équipages ne mangeaient presque rien, les aliments cuits avant la plongée subissant l'action de l'hydrogène arsénié présentaient une odeur particulière qui faisait penser à une sorte de décomposition. Le lait lui-même était mal supporté, seule l'eau minérale était acceptée avec plaisir. Un ancien sous-marinier de la Guerre, qui nous racontait ses souvenirs, nous a dit que les symptômes fonctionnels subissaient une sorte d'exacerbation à la fin de la plongée : la prise de contact avec l'atmosphère extérieure déterminait alors des vomissements violents et de la diarrhée qui anéantissaient littéralement les hommes. Les plus robustes paraissaient fournir une prise particulièrement nette au mal. La convalescence était longue et les équipages, soumis pendant un certain temps à ces croisières déprimantes, se remettaient lentement, l'anémie demeurant tenace. La magnésie avait été préconisée pour aider à l'élimination de l'arsenic (SOULIER).

A côté de ces cas que nous rangerions volontiers suivant leur répétition et leur intensité dans les formes décrites par ARNOULD, il y a lieu de signaler des intoxications suraiguës et massives qui ont abouti à de véri-

tables catastrophes. Il semble bien que l'hydrogène arsénié ait été responsable de l'étrange aventure de l'*U-31* allemand. La voici racontée dans l'ouvrage de LOWELL THOMAS, *Les Corsaires sous-marins* :

« Le troisième sous-marin, l'*U-31*, ne revint jamais. Des semaines et des mois passèrent sans qu'on sût rien de lui. Il s'était bel et bien évanoui et on pensait qu'il avait dû toucher une mine. Six mois après il reparut d'une façon sensationnelle. Il était devenu le sous-marin fantôme ».

« Vous connaissez la vieille légende du vaisseau armé par des morts. Pendant la guerre naquit la légende de l'aéroplane volant en plein ciel, piloté par un mort. Voici maintenant celle du sous-marin ».

« Un sous-marin navigue doucement en surface. Tout paraît normal à son bord. Il semble menaçant, paré à plonger et à lancer des torpilles. En fait, c'est le vent qui le pousse et il finit par s'échouer sur la côte Est de l'Angleterre. Des pêcheurs étonnés donnent l'alarme. Les Autorités maritimes arrivent en hâte. Le sous-marin, immobile comme roc, est échoué sur un banc de sable. On monte à son bord, on le prend en remorque et à son arrivée au port on le met en cale sèche ».

« Voici ce qu'on découvre :

« Ce sous-marin est l'*U-31* qui avait pris la mer six mois auparavant, un vendredi 13. Il est en parfait état. Il pourrait être en croisière active. Mais officiers et matelots sont dans leurs couchettes et dans leurs hamacs. Ils semblent endormis, ils sont morts. La dernière inscription sur le journal du bord remonte à

« six mois. D'après ce document, le sous-marin a appa-
« reillé de Wilhelmshaven pour une des premières grandes
« croisières sous-marines de la Guerre. Rien d'anormal
« ne s'est produit. Son voyage s'est effectué normalement
« et sans événement extraordinaire. Brusquement, le
« journal s'arrête six mois, jour pour jour, avant qu'on
« ait retrouvé le sous-marin ».

« Ce sous-marin manœuvré par des morts a donc croisé
« pendant six mois dans les eaux de la mer du Nord
« sillonnées de patrouilles nombreuses. Cela dépasse les
« bornes de l'imagination. Les techniciens n'ont pu
« trouver qu'une explication de ce mystère et cette
« explication est vraisemblablement la bonne :

« Le sous-marin avait dû se poser sur le fond pour y
« passer la nuit ainsi qu'il le faisait souvent. Les officiers
« et l'équipage étaient allés dormir, tandis que le navire
« reposait en sécurité au fond de la mer. On avait laissé
« sans doute un seul factionnaire qui avait dû, lui aussi,
« succomber à la tentation de faire un petit somme : il
« ne s'en était pas réveillé. Des gaz empoisonnés (il s'en
« formait souvent sur les sous-marins de modèle ancien)
« avaient dû pénétrer dans le compartiment où l'équi-
« page dormait et asphyxier tout le personnel pendant
« son sommeil. Le navire était resté sur le fond. L'air
« comprimé avait fui petit à petit et chassé graduellement
« l'eau des ballasts à mesure que les mois passaient.
« Enfin, un beau jour le sous-marin avait retrouvé une
« flottabilité positive et fait surface. Il devait se trouver
« près de la côte sur laquelle il avait été rapidement
« poussé ».

« C'est là un épisode unique dans l'histoire des corsaires sous-marins ».

Citons aussi, pour mémoire, les intoxications par le chlore (nous y reviendrons), par l'hydrogène antimonie, l'hydrogène sulfuré et les vapeurs d'essence.

Tous ces dangers avaient suscité, pendant la Guerre, d'assez nombreuses études : des Commissions spéciales furent nommées par le Gouvernement français pour étudier les moyens d'éviter les accidents et les intoxications et perfectionner les dispositifs d'aération et de ventilation (D^{rs} BERTRAND et TISSOT, Médecin en chef GIRARD, Médecin de 1^{re} classe VALLETEAU DE MOUILLAC, D^r LAFOLIE).

HABITABILITÉ ET HYGIÈNE GÉNÉRALE. — Les sous-marins, pendant la Guerre, étaient encore bien exigus : leur tonnage ne dépassant pas en général 500 tonnes, ils n'offraient qu'un confort très relatif. Certains sous-marins allemands du type *U-B* étaient si petits qu'on les avait surnommés « machines à coudre » ; ils ne portaient que 14 hommes et ne pouvaient avoir qu'un faible rayon d'action. Leur stabilité était précaire et le lancement d'une torpille à l'avant suffisait pour leur faire faire littéralement un bond, une fois délestés du poids de l'engin. D'autres sous-marins étaient plus importants. L'*U-20*, qui a coulé le *Lusitania*, comptait 4 officiers et 32 hommes ; certains bâtiments de ce type comportaient des postes spacieux, assez hauts d'étage ; on y trouvait même le chauffage à la vapeur, mais c'était l'exception.

Le service était fort pénible en raison de l'atmosphère surchauffée et humide du bord, du manque de sommeil, de la tension perpétuelle d'esprit, de la nourriture composée essentiellement de conserves de qualité parfois médiocre, enfin du manque d'hygiène : la propreté corporelle était délaissée pour économiser l'eau douce dont la quantité ne dépassait guère 1 litre par jour et par homme.

SAUVETAGE. — Certains dispositifs, dès cette époque, avaient été prévus. La lutte contre l'incendie était assurée par des extincteurs. Les sous-marins allemands possédaient des appareils respiratoires portatifs individuels munis d'une petite bouteille d'oxygène comprimé et d'une boîte d'absorption de l'acide carbonique par la potasse. Le porteur de cet appareil devait pénétrer dans un sas de scaphandrier et s'échapper, par ce moyen, d'un sous-marin coulé. Ces dispositifs n'avaient qu'une valeur théorique, étant surtout destinés à rassurer les effectifs.

Telles étaient les conditions de vie sur les sous-marins pendant la Guerre. Pour traduire l'impression générale qui s'en dégage, nous ne pouvons mieux faire qu'emprunter encore une fois aux pages si vivantes de LOWELL THOMAS, les lignes suivantes : « Les équipages de sous-marins avaient toujours les nerfs brisés de façon ou d'autre et il fallait souvent les envoyer au repos pour les remonter. La vie ordinaire à bord des bâtiments, dans une ambiance perpétuelle de danger et de terreur, était trop dure pour être longtemps supportée par l'organisme humain. Des hommes devenaient fous.

« Les autres, après une période de repos et un traitement
« approprié, revenaient et étaient ou n'étaient pas re-
« connus de nouveau aptes à la navigation sous-marine.
« Tous souffraient de lourde oppression ».

Et enfin, « Les officiers et hommes des sous-marins ne
« sont pas devenus fous en aussi grande quantité qu'on
« a bien voulu le dire, mais les dangers qu'ils ont affrontés
« les ont presque tous vieillis avant l'âge ».

CHAPITRE III

LE SOUS-MARIN MODERNE

DÉFINITION. — Un sous-marin est un bâtiment de guerre construit pour pouvoir naviguer, soit en surface comme tous les autres navires, soit en plongée dont il peut régler la profondeur, c'est-à-dire sans aucune liaison avec la surface de la mer ou encore sans avoir aucune surface de flottaison.

Cette définition correspond à celle des anciens submersibles. Nous savons que toute distinction entre sous-marins et submersibles est aujourd'hui périmée : on ne construit plus, pour la navigation sous-marine, que des navires possédant, à la fois, les qualités nautiques d'un bâtiment de surface et la possibilité de s'immerger.

La plongée, caractéristique essentielle de la navigation sous-marine, a été conçue pour donner aux bâtiments dont il est ici question un avantage fondamental en temps de guerre : l'invisibilité.

Autrefois, on pensait que cette possibilité était une qualité absolue des sous-marins et qu'il devait s'en déduire tout naturellement une invulnérabilité assurée. Or, l'expérience de la guerre et les progrès de la défense

ont montré que c'était là une opinion excessive. L'invisibilité ne peut être que relative : il suffit de lire les récits de guerre pour s'apercevoir que bon nombre de sous-marins ont été décelés, à faible immersion, par des avions ou que la simple émergence, même de courte durée, du périscopes a souvent suffi pour les trahir. Actuellement, l'écoute sous-marine est, de plus, un moyen précis de détection.

ARMEMENT DES SOUS-MARINS. MOYENS D'ATTAQUE. — Néanmoins, la plongée est une précieuse faculté de dissimulation : elle résume à la fois les moyens d'attaque et de protection, permettant de combattre dans les meilleures conditions et de fuir sans trop de risques.

De tous les engins qui en font de redoutables appareils de guerre, il faut donner la première place aux armes dites sous-marines : torpilles et mines. Tous les sous-marins sont dotés, en plus ou moins grand nombre, de torpilles automobiles pouvant atteindre un but éloigné de 6.000 mètres : elles constituent l'armement normal du sous-marin. Les torpilles sont contenues dans des tubes étanches : les uns, fixes, sont placés aux extrémités du bâtiment, le plus souvent à l'intérieur du poste avant ; les autres, orientables, sont situés dans les superstructures et sont manœuvrables de l'intérieur avec un moteur électrique (tubes milieu et arrière). Quant aux mines, tous n'en possèdent pas : certains seulement, dits mouilleurs de mines, peuvent semer, sous leur sillage, ces sournois appareils explosifs qu'ils immergent entre deux eaux à des profondeurs prévues.

L'artillerie (canon de 75 ou de 100 mm., canon de

37 mm. contre avion, mitrailleuse) constitue une arme secondaire dont le sous-marin ne peut se servir qu'en surface, soit qu'étant dans l'impossibilité de plonger il ait à se défendre contre un navire de surface ou un avion, soit qu'il veuille attaquer un objectif qui ne mérite pas l'énorme dépense d'une torpille (1).

Bien que le cas soit unique dans notre marine, signalons que le grand sous-marin de croisière, *le Surcouf*, possède dans un compartiment étanche, aménagé sur le pont, un hydravion démontable.

LES ENNEMIS DES SOUS-MARINS. MOYENS DE DÉFENSE.

— Tout puissants au début de la Guerre, les sous-marins ont bien vite rencontré des adversaires redoutables : avions, chasseurs, torpilleurs et contre-torpilleurs.

Les grenades sous-marines peuvent, en éclatant à une profondeur déterminée, couler un sous-marin immergé, à moins qu'un rapide bateau de surface n'ait pu l'aborder avant sa plongée.

Les organismes de défense côtière mouillent, dans les chenaux d'accès, aux diverses immersions, des filets capables de capturer un sous-marin imprudent ou trop hardi, et même de le faire sauter s'ils sont farcis de mines.

Les bâtiments de surface ou les postes d'écoute installés le long du littoral peuvent déceler par micros l'approche des sous-marins.

Enfin, les sous-marins ennemis en plongée guettent

(1) L'artillerie du *Surcouf* peut être considérée comme arme principale pour ce bâtiment chargé de missions spéciales.

et peuvent couler leur semblable qui navigue en surface, croyant la mer libre.

SCHÉMA GÉNÉRAL D'UN SOUS-MARIN. — Construit avant tout pour se dissimuler et se glisser sournoisement sans donner l'éveil, un sous-marin comprend essentiellement :

a) *une coque épaisse* ou coque intérieure renfermant le personnel et les appareils. Elle est destinée à supporter la pression de l'eau, aux différentes profondeurs de la plongée : capable de résister à 8 ou 10 kilogs par centimètre carré, elle permet une immersion maximum de 80 à 100 mètres. Cette coque est constituée par un long cylindre d'acier. L'intérieur est divisé en compartiments séparés par des cloisons munies de portes étanches. Chaque compartiment est divisé par un pont en deux étages. L'étage supérieur est seul habité.

Prenant pour type le sous-marin de 1500 tonnes, on rencontre, en circulant de l'avant à l'arrière :

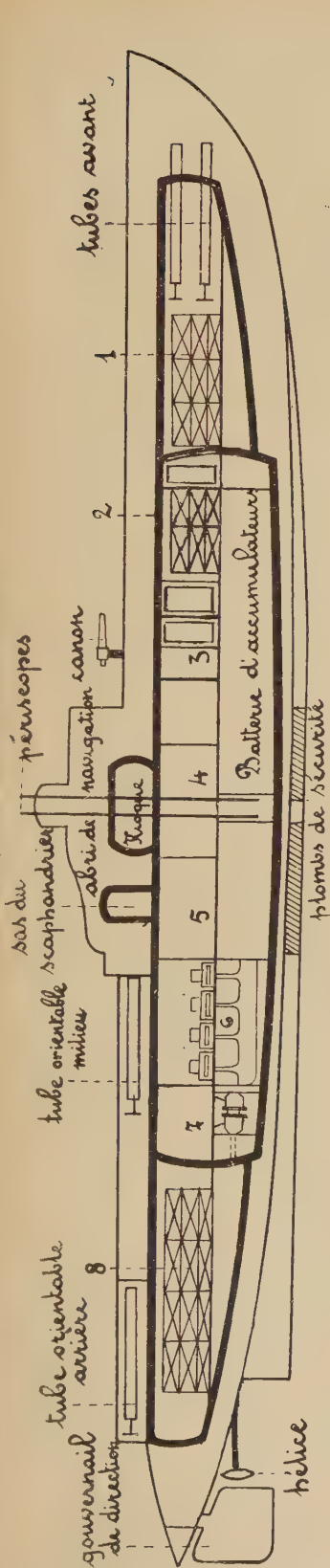
1° le poste avant contenant 4 tubes lance-torpilles (1) : il sert de poste de couchage et de réfectoire à une partie de l'équipage et contient la cuisine de plongée et quelques auxiliaires (turbine d'épuisement, pompe, guindeau). Au dessous, se trouve la cale avant et les deux torpilles de réserve ;

2° les logements : postes des maîtres, chambres, office

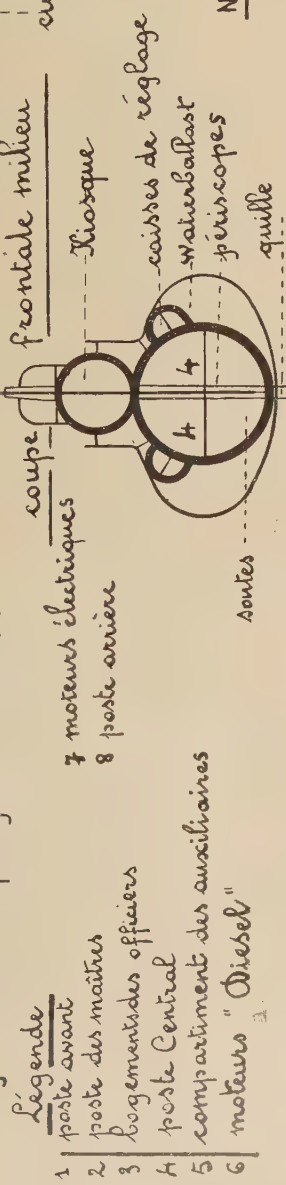
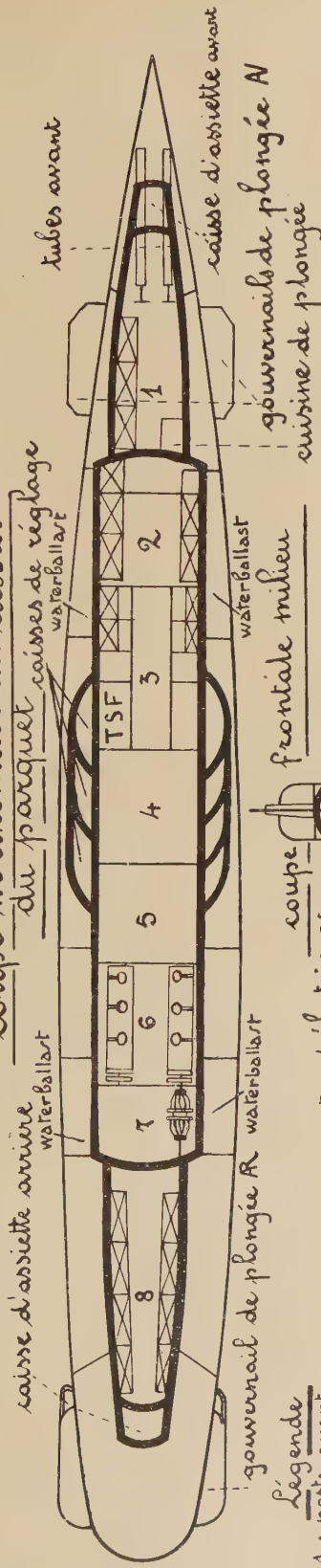
(1) Ce type de sous-marin possède onze tubes lance-torpilles : quatre à l'avant, trois au milieu et quatre à l'arrière. Avec deux torpilles de réserve pour l'avant, ce bâtiment compte au total treize torpilles.

COUPES DU SOUS-MARIN

Coupe longitudinale



coupe horizontale au dessus du parquet



- Légende**
- 1 poste avant
 - 2 poste des maîtres
 - 3 logements des officiers
 - 4 poste Central
 - 5 compartiment des auxiliaires
 - 6 moteurs "Diesel"

N.B. La coque épaisse est représentée en traits pleins.

et carré des officiers, poste de T.S.F. L'étage inférieur contient à ce niveau la cambuse et la chambre froide ;

3° le poste central, situé à peu près au milieu du bâtiment, renfermant les commandes de manœuvres de prise de plongée et d'émersion (purges, tableaux de chasse), le compas gyroscopique, des organes de navigation et un périscope prévus pour le cas de destruction du kiosque. Les accumulateurs sont renfermés sous le parquet des logements et du poste central ;

4° le compartiment dit des auxiliaires (ventilateurs, turbo-soufflante, station d'huile, compresseur d'air) ;

5° le compartiment des moteurs Diesel ;

6° le compartiment des moteurs électriques avec leurs tableaux de manœuvre et, à l'étage inférieur, le groupe électrogène ;

7° un poste arrière servant de poste de couchage pour la deuxième partie de l'équipage. Il contient parfois les tubes lance-torpilles arrière ; au-dessous, se trouve la cale arrière et le compartiment de la barre ;

b) des ballasts : réservoirs situés en dehors de la coque épaisse, et sur toute sa longueur. C'est là que l'eau pénètre pour alourdir le bâtiment et le faire plonger ; certains ballasts sont destinés à l'équilibration (caisses d'assiette, de réglage et de compensation). Au moment de l'émersion, l'eau est chassée par l'air comprimé. Les ballasts renferment, en outre, des soutes à pétrole, des caisses de plongée rapide, etc. ;

c) un kiosque, sorte de construction entourée d'une coque épaisse : c'est la chambre de commandement au poste de combat, c'est-à-dire à la prise et au cours de la

plongée. Il renferme deux périscopes, les commandes à distance des tubes lance-torpilles, celles de la barre de direction, les organes de transmission des ordres à tout le bâtiment et les témoins de leur exécution.

d) un pont, surmontant la coque épaisse et les ballasts, d'où s'exécutent les manœuvres de navigation en surface. Un abri de navigation ou « baignoire » surmonte directement le kiosque, et sert de passerelle de navigation. Sur le pont, se trouvent encore les pièces d'artillerie, le mât de signaux, les mâts de T.S.F. rabattables au moment de la plongée, la cuisine de surface, etc ;

e) des appendices : gouvernails de direction, quille d'échouage pour garantir le bâtiment qui se pose sur le fond, gouvernails de plongée avant et arrière, filières pare-filets, plombs de sécurité, superstructures diverses, etc.

FONCTIONNEMENT. — Les divers états statiques et dynamiques du sous-marin reposent sur les principes d'ARCHIMÈDE et de PASCAL. En surface, le sous-marin navigue exactement à la manière d'un autre bâtiment. Le volume de la partie émergée par rapport au déplacement en plongée est de 25 à 30 % : c'est ce qu'on appelle le coefficient de flottabilité. Un tel chiffre permet au sous-marin de naviguer par tout temps et même par grosse houle. Sa propulsion est assurée par les moteurs Diesel alimentés au gaz oil ; ceux-ci servent aussi à charger les accumulateurs, de sorte que le navire est autonome pour sa marche en immersion.

Pour passer de la surface à la plongée, il faut alourdir le sous-marin jusqu'à ce que son poids soit égal à la

poussée qui s'exerce sur lui quand il est entièrement immergé : cet alourdissement s'obtient en remplissant les ballasts. La pesée du bâtiment assure l'équilibre : pour cela, on remplit plus ou moins des caisses spéciales appelées caisses d'assiette et de réglage.

Au moment de la prise de plongée, tous les panneaux sont hermétiquement fermés, les Diesels arrêtés et remplacés par les moteurs électriques. Tout est alors disposé pour assurer au navire, grâce à la plongée, le maximum d'invisibilité. A cet effet, le sous-marin moderne est outillé pour :

a) réaliser une grande rapidité de plongée donnant une invisibilité presque instantanée ; dans toutes les Marines, on peut plonger en moins d'une minute ;

b) atteindre une profondeur de plongée suffisante pour rendre l'invisibilité plus complète, éviter le repérage par avion et augmenter la protection : la profondeur maximum que peut atteindre un sous-marin de 1.500 tonnes, sans dépasser la limite de sécurité, est d'environ 80 mètres. La pression qui s'exerce sur la coque épaisse est de 100 grammes par mètre d'immersion. Certains sous-marins italiens peuvent plonger jusqu'à 120 mètres. Dans la pratique courante, les plongées ne dépassent guère la profondeur de 40 à 60 mètres. La navigation en demi-plongée se fait à 4 mètres sous l'eau, de façon à pouvoir utiliser le périscopes sans laisser de remous ni de sillage ;

e) disposer d'un rayon d'action, en plongée, assez étendu, pour prolonger l'invisibilité : en fait, on ne dépasse guère 100 milles à 4 nœuds, et l'on ne peut garantir

que pendant une demi-heure la vitesse maximum de 10 nœuds pour un bâtiment de 1.500 tonnes.

En plongée, le sous-marin se dirige par compas gyroskopique : ses indications sont complétées par le sondage à l'ultra-son.

ORGANISATION. — Les sous-marins de la Flotte, à part quelques rares exceptions, sont rattachés aux escadres. Ils constituent des flottilles subdivisées en escadrilles. Ces dernières sont basées sur les ports de Cherbourg, Brest, Toulon et Bizerte. Les unités sont groupées en divisions.

On réserve l'appellation de sous-marin de 1^{re} classe à tout bâtiment dont le déplacement en surface est égal ou supérieur à 850 tonnes en charge normale ; les sous-marins dont le tonnage est inférieur à ce chiffre sont dits de 2^e classe. Si le bâtiment est mouilleur de mines, il est dénommé sous-marin de 1^{re} ou 2^e classe mouilleur de mines.

Notre Flotte comprenait, à la date du 1^{er} janvier 1939, 76 sous-marins sous l'âge (c'est-à-dire en service actif) représentant un tonnage global de 74.088 tonnes et répartis de la façon suivante :

a) 1 sous-marin hors classe de grande croisière, le *Surcouf*, de 2.800 tonnes en surface et 4.500 en plongée ;

b) 39 sous-marins de 1^{re} classe :

30 sous-marins de 1.500 tonnes ;

9 sous-marins de classe intermédiaire, type *Requin*, de 974 tonnes ;

c) 30 sous-marins de 2^e classe ;

d) 6 sous-marins mouilleurs de mines.

A ces chiffres, il convient d'ajouter 17 unités en construction.

On peut encore classer les sous-marins au point de vue de leur rayon d'action en deux catégories : sous-marins côtiers pour la défense du littoral, sous-marins de croisière pour la protection des côtes coloniales et l'attaque.

ETAT ACTUEL DE LA NAVIGATION SOUS-MARINE. — Toutes les Marines se sont efforcées de donner à leurs sous-marins un rayon d'action maximum : de plus en plus, les bâtiments dits de croisière augmentent de nombre et d'importance. Elles construisent des types de sous-marins utilisables pour la destruction du commerce sur les grandes routes du trafic maritime ; enfin, elles développent sans cesse la puissance offensive de leurs unités.

Malgré les succès remportés par la détection des sous-marins et les moyens de s'en défendre, l'arme sous-marine n'a pas perdu de son importance. Elle n'a pu, évidemment, supplanter la puissance militaire des escadres et des bâtiments de ligne, mais elle demeure une redoutable menace.

La France est loin d'être en retard en ce qui concerne la valeur militaire de ses sous-marins. De nombreuses croisières d'endurance mettent à l'épreuve et consacrent, depuis quelques années, la parfaite mise au point du matériel en même temps qu'elles assurent aux effectifs un sérieux entraînement. La plupart de nos 1.500 tonnes ont pu effectuer, sans incident, et souvent dans des conditions très dures, de longues randonnées. Nous aurons l'occasion de parler, en détail, de certaines d'entre

elles : chaque année, plusieurs divisions font le voyage des Antilles ou d'Extrême-Orient avec une réussite qui ne laisse aucun doute sur l'excellente tenue de nos flottilles. De plus, les sous-marins battant pavillon français font chaque fois l'admiration des Puissances étrangères. Plaise au Ciel que notre Marine Nationale, qui possède de ses sous-marins une parfaite maîtrise, n'ait à s'en servir jamais que pour leur faire porter, d'une extrémité à l'autre de notre Empire colonial, l'aimable salut de la Patrie.

DEUXIÈME PARTIE

CONDITIONS PHYSIOLOGIQUES DE VIE
A BORD DES SOUS-MARINS

A moins d'être d'une originalité excessive (tout est évidemment possible dans cet ordre d'idée), il ne viendra généralement pas à l'esprit de faire du yachting à bord des sous-marins. Conçus et réalisés pour faire la guerre, suivant des lois qui leur sont propres et dont les principales se rapportent à la plongée, les sous-marins ont essentiellement un but militaire, auquel tout, à bord, doit être subordonné (1). Sans doute, ont-ils quelques points communs avec leurs compagnons d'escadre lorsqu'ils naviguent en surface, mais l'obligation où ils se trouvent de plonger rapidement pour se dissimuler et réaliser leurs fins les éloigne considérablement des autres bâtiments de guerre : c'est ce qui crée, pour leurs équipages, des conditions physiologiques propres à la vie sous-marine (vie en vase clos). Même dans la navigation en surface, les règles d'hygiène du sous-marin ne peuvent se ramener à celles de l'hygiène navale commune. La vie à bord est conditionnée tout entière par la possibilité d'une plongée rapide, profonde et prolongée. On

(1) Avant l'entrée en guerre des Etats-Unis, l'Allemagne avait construit un certain nombre de sous-marins commerciaux destinés à ravitailler sa population.

conçoit alors, sans peine, que l'hygiène des sous-marins pose un problème très délicat. La solution apportée ne peut être qu'un compromis entre les obligations militaires et la nécessité d'assurer à l'effectif des conditions de vie en rapport avec les exigences physiologiques. Il s'agit de maintenir les hommes en pleine forme physique pour les rendre capables en tout temps du rendement maximum imposé par l'utilisation même du sous-marin.

On peut dire que les progrès réalisés, depuis un demi-siècle, ont abouti à rendre l'intérieur du sous-marin successivement viable, puis habitable. Il est permis d'affirmer qu'on est déjà entré dans le stade du confortable et du bien-être.

L'étude de conditions de vie si particulières nous amènera tout naturellement à envisager, en détail, les questions relatives à l'atmosphère, à l'habitabilité, puis à l'alimentation. Après, seulement, il nous sera possible de connaître les conséquences de la vie à bord, les maladies et les accidents qu'on y observe et les effets des plongées sur l'organisme.

CHAPITRE PREMIER

L'ATMOSPHERE INTÉRIEURE DES SOUS-MARINS

Cette question est, de toutes celles qui intéressent l'hygiène navale sous-marine, la plus importante : elle a, dès l'apparition des premiers submersibles, préoccupé les constructeurs et les médecins et fait l'objet d'innombrables travaux ; elle est peut-être aussi la plus intéressante, car sa complexité est en rapport direct avec les caractères si particuliers, dont nous avons préalablement parlé, de l'arme sous-marine.

Des progrès continus ont été réalisés. D'autres le seront dans l'avenir.

Les résultats déjà obtenus semblent toutefois avoir dépassé bien des espérances lorsqu'on constate, entre autres, des faits de ce genre : en pays chauds les équipages de certains sous-marins dotés d'installations pour le conditionnement de l'air viennent chercher à l'intérieur de leur bâtiment un air frais et sec et y goûtent, entre leurs heures de travail, un repos salutaire ; loin

de fuir le bord, ils le recherchent volontiers alors qu'ils ont à leur disposition à terre des lieux de repos pleins d'ombrages.

Il nous a paru bon, pour clarifier le sujet fort vaste que nous allons étudier, d'adopter le plan suivant :

En premier lieu, après avoir dit quelques mots du cubage utile, nous envisagerons les principaux facteurs capables de modifier l'atmosphère intérieure du sous-marin : viciations d'origines diverses, altérations d'ordre physique ou chimique. Puis, abordant l'étude des remèdes, nous passerons en revue tous les procédés dont on dispose pour assurer, suivant les cas et d'une manière satisfaisante, un renouvellement ou une régénération de l'air intérieur. Chemin faisant, nous nous permettrons de jeter quelques regards sur le passé afin de montrer quels progrès ont été réalisés.

1° CUBAGE UTILE

Le cubage est évidemment fort réduit à bord du sous-marin : il suffit d'y pénétrer et d'y circuler pour s'en rendre compte. Il ne peut en être autrement, à moins de donner au bâtiment des dimensions excessives qui ne seraient plus en rapport avec ses qualités militaires.

Pour évaluer le cubage d'air, deux moyens se présentent à nous : l'un est le résultat d'un calcul qui donne, pour le volume intérieur du sous-marin, un chiffre voisin des $\frac{2}{3}$ du tonnage. Il convient, toutefois, de remarquer qu'en raison de l'encombrement (machines, tuyautages, appareils divers, meubles) une bonne partie de ce volume

intérieur est perdu. Le second moyen est, à l'inverse du précédent, avant tout expérimental, et donne des chiffres plus précis et plus certains. Il consiste à détendre, à l'intérieur d'un sous-marin placé dans les conditions de la plongée, une quantité déterminée d'air comprimé. On mesure la pression de l'atmosphère avant et après l'expérience; un calcul très simple permet alors de déterminer le volume utile.

Cette méthode montre que ce volume, pour un sous-marin de 1.500 tonnes, est inférieur à 1000 mètres cubes. Une mesure effectuée sur le Z... a donné le chiffre de 982 m³ pour un effectif de 65 hommes, soit un cubage individuel de 15 m³ environ. On peut dire que, pour un sous-marin de fort tonnage, le cubage utile oscille autour de 12 mètres cubes. Ce chiffre s'abaisse sur les petits bâtiments au point d'être voisin de 8 mètres cubes pour les sous-marins de 600 tonnes. Remarquons, d'autre part, que ces résultats ne sont que des moyennes et qu'ils supposent des hommes également répartis dans le bord. Pratiquement, les choses sont différentes; le cubage varie suivant les compartiments: assez élevé au poste central ou aux Diesels, il s'abaisse considérablement aux postes avant et arrière, ainsi qu'au local des maîtres où les hommes s'entassaient littéralement en dehors de leurs heures de service; dans ces compartiments, le cubage réel est des plus réduit, il ne dépasse pas 1 m³ 500 par homme.

Bien qu'il ne s'agisse pas là, à proprement parler, d'un remède, les hommes parent aux inconvénients d'un pareil encombrement en passant, à la mer, une partie de leurs moments de repos sur le pont, au grand air;

au mouillage, ils vivent à la station, en dehors du travail et des heures de quart.

Nous verrons, aux chapitres suivants, combien ce cubage restreint contribue au confinement et à la viciation rapide de l'atmosphère intérieure.

2° MODIFICATIONS DE L'ATMOSPHÈRE INTÉRIEURE

Suivant la comparaison de PRYOR (1), l'équipage d'un sous-marin naviguant en surface, tous panneaux ouverts, est comme placé dans le fond d'une bouteille aérée seulement par un étroit goulot. La situation s'aggrave naturellement en plongée.

Pour éviter des répétitions inutiles, nous étudierons, dans un seul et même chapitre, les modifications de l'atmosphère en surface et en plongée, ayant surtout en vue ce dernier cas. Qu'on ne s'y trompe point, les viciations de l'air ne sont pas moindres en surface qu'en plongée : l'ouverture toute grande des panneaux, rarement possible d'ailleurs à la mer, ne peut pas toujours suffire à elle seule à empêcher l'air de devenir rapidement irrespirable.

A. — VICIATIONS D'ORIGINE HUMAINE

EMANATIONS DIVERSES. — Avant d'étudier les modifications, de beaucoup les plus importantes, que créent dans l'atmosphère les échanges respiratoires, signalons,

(1) PRYOR, *Naval Hygiène*, Philadelphie.

rapidement, les émanations diverses répandues par l'entassement d'êtres vivant dans un espace clos : odeurs alimentaires, produits volatils issus des vêtements, du tube digestif, excréta divers (haleines, vomissements, gaz intestinaux, fèces). Il s'agit, au point de vue chimique, de gaz variés : hydrogène sulfuré, ammoniacque, etc.

Il semble que les viciations les plus dangereuses de cet ordre proviennent de la transpiration et de la voie d'élimination pulmonaire (nous ne parlons pas encore des modifications de la composition chimique de l'air).

BROWN-SEQUART et D'ARSONVAL ont insisté, dans leurs travaux, sur la présence, dans l'air expiré, d'un produit toxique volatil qu'ils ont appelé anthropotoxine et qui serait comparable à un alcaloïde ; il posséderait une action réductrice sur une solution de permanganate de potasse. D'après TRILLAT, il s'agirait d'amines de la série grasse (amylamine par exemple) et il suffirait, pour les détruire, de faire barboter l'air souillé dans une solution d'acide sulfurique. Pour le même auteur, ces produits volatils favoriseraient le développement des bactéries répandues dans l'atmosphère « gaz-aliments de TRILLAT ». La question a été d'ailleurs très débattue et les auteurs ne sont pas d'accord sur la nature des substances en question. D'après WEICHARDT, il s'agirait de corps voisins des xénotoxines produites au cours de la fatigue. Pour E. FORMANEK, l'ammoniacque d'origine fécale, ou même buccale dans les cas de carie dentaire, résumerait les viciations par ces prétendus poisons volatils. FLÜGGE, ne croyant pas à leur existence,

attribue les méfaits qu'on leur rapporte aux conditions physiques de l'air confiné : humidité, chaleur, stagnation. Quoi qu'il en soit, il ne convient pas de s'arrêter longuement à ces impuretés de l'atmosphère : il semble bien qu'elles soient négligeables en dehors des conditions d'expérience de laboratoire.

ECHANGES RESPIRATOIRES. — Ce sont eux qui créent les modifications de beaucoup les plus importantes de l'atmosphère du sous-marin. On sait que l'air pur contient approximativement 21 % d'oxygène, 79 % d'azote, de la vapeur d'eau en quantité variable, une faible quantité d'acide carbonique (environ 0,03 %) et des traces de gaz rares et inertes (hélium, krypton, xénon, néon) dont il n'y a pas lieu de tenir compte en physiologie. Les phénomènes chimiques de la respiration déterminent de sérieuses modifications dans la teneur de l'air expiré qui renferme alors 16 % seulement d'oxygène, 4 % d'acide carbonique et se trouve saturé de vapeur d'eau. Un homme au repos ou soumis à un travail peu important exhale, en moyenne, par heure, 20 à 22 litres d'acide carbonique correspondant à l'absorption de 26 litres d'oxygène dans le même temps. Le volume d'acide carbonique dégagé est, en effet, inférieur au volume d'oxygène absorbé, le quotient respiratoire étant inférieur à l'unité. Il va sans dire que ces chiffres ne constituent que des moyennes et sont susceptibles de variations. C'est ainsi que le quotient respiratoire est modifié par l'alimentation : il tend à se rapprocher de l'unité si les repas sont riches en hydrates de carbone, il diminue, au contraire, jusqu'à 0,7 après l'ingestion de corps gras.

Quant aux échanges gazeux, leur activité est fonction de plusieurs facteurs : on sait que si la température extérieure varie au-dessus ou en dessous du point de neutralité thermique, la dépense d'énergie et, partant, l'intensité des échanges respiratoires s'accroissent du fait de la mise en jeu des mécanismes de régulation de la chaleur animale. C'est surtout le travail musculaire qui conditionne l'activité des échanges gazeux : il s'accompagne, en effet, d'une ventilation pulmonaire plus énergique et d'une circulation plus intense. Dans les expériences de ZUNTZ, pour un travail d'une heure, la dépense de fond subissait une augmentation de 420 % de sa valeur par une marche en terrain plat de 4.800 mètres avec 25 kilogs de bagages. On conçoit que des conditions analogues puissent être parfois réalisées par le travail soutenu et les efforts demandés au personnel d'un sous-marin, en cas de guerre par exemple. Le sommeil a également une influence : à l'opposé du travail, il fait tomber les échanges gazeux assez bas.

L'étude de ces différents facteurs explique qu'en cas de nécessité de plongée anormalement prolongée, accident, avarie, obligation militaire, on puisse demander au personnel de garder un repos absolu et d'observer un jeûne relatif pour diminuer les échanges gazeux et ménager, de la sorte, l'air respirable (CAZAMIAN).

Au cours d'expériences déjà anciennes (1) effectuées sur le sous-marin *Hermione*, des courbes de viciation

(1) RIDEAU, médecin de 1^{re} classe. Considérations hygiéniques sur l'escadrille des sous-marins de Bretagne. Archives de Médecine Navale 1919, tome 108, pages 94-108.

avaient été dressées : dans une atmosphère de 380 m³ occupée par 31 hommes, on avait trouvé comme teneur en acide carbonique :

Au bout de 6 heures.....	1 %
Au bout de 12 heures.....	2 %
Au bout de 18 heures.....	3 %

La quantité d'oxygène avait parallèlement baissé dans les proportions suivantes :

Teneur au bout de 5 heures	20 %
Teneur au bout de 10 heures	19 %
Teneur au bout de 15 heures	18 %

Or, on admet que la teneur de l'air en oxygène ne doit, en aucun cas, tomber au-dessous de 17 %, une allumette suédoise ne peut plus alors être enflammée. Toutefois, il convient de remarquer que les troubles physiologiques qu'on peut éprouver en atmosphère confinée sont plus en rapport avec l'enrichissement de l'air en acide carbonique qu'avec son appauvrissement en oxygène. Si l'on ne met en jeu aucun moyen d'absorption de l'acide carbonique, on commence à éprouver quelques malaises lorsque l'air en contient de 1 à 1,5 %, ce qui ne manque pas de survenir au bout de 6 à 8 heures de plongée suivant le cubage utile et la nature du travail effectué. L'intoxication lente et graduelle par l'acide carbonique est surtout caractérisée par une sorte d'engourdissement ; après une courte période d'inquiétude et d'accélération des mouvements respiratoires, qui fait inhaler davantage de CO² et augmente ainsi l'intoxication, l'animal enfermé dans un local hermétiquement clos subit l'action

anesthésiante de l'acide carbonique, ne réagit plus et meurt plongé dans un profond sommeil. S.C. THOMAS SHAW et S.L.C. WILLIAM GERRARD (1) constatent au bout de 12 heures de plongée : des céphalées, une somnolence progressive et un peu de paresse intellectuelle. Si la plongée se prolonge 18 ou 20 heures, les symptômes s'accusent, mais peuvent disparaître aussitôt après la mise en action des procédés de régénération dont nous parlerons plus loin. Tous les anciens sous-mariniers de la Guerre soumis à des plongées de longue durée ont ressenti ce besoin invincible et anormal de dormir.

L'entassement des hommes dans des locaux étroits, où l'air ne pénètre pas, est à l'origine de viciations atmosphériques qui seraient rapidement incompatibles avec la vie si le problème de la ventilation et de la régénération de l'air n'avait été résolu. Mais il faut encore compter avec des modifications dues au fonctionnement des divers appareils du bord et qui peuvent causer des intoxications graves, parfois mortelles.

B. — VICIATIONS PROVENANT DU MATÉRIEL ET DES MACHINES

Loin d'être négligeables, elles peuvent présenter une importance considérable : elles ont été la cause d'accidents tragiques et, de nos jours encore, on peut voir survenir, si l'on n'y prend garde, des intoxications plus ou moins graves.

(1) *Journal of the Royal Medical Naval Service*. Octobre 1924.

Ce sont, principalement, les appareils de propulsion qui sont à l'origine des viciations que nous étudions ici.

MOTEURS DIESEL. — Les moteurs Diesel assurent la navigation en surface et la charge des accumulateurs. Ils sont alimentés par du gaz oil, produit issu du pétrole. Constitué par divers hydrocarbures saturés et aromatiques, le gaz oil présente une composition variable suivant la proportion de ces hydrocarbures et l'origine des pétroles. La combustion du gaz oil est plus ou moins complète, surtout quand les moteurs sont en surcharge : il peut alors se dégager des hydrocarbures volatils résultant d'une sorte de fractionnement du produit initial par la chaleur. Pour BELLI, il y aurait, au début de la plongée, une teneur d'hydrocarbures constante dans l'atmosphère : 0,1449 par mètre cube, et la concentration pourrait même devenir impressionnante dans certains compartiments. On a noté, également, la production d'oxyde de carbone par suite d'une mauvaise combustion du gaz oil, ainsi que le dégagement d'anhydride sulfureux provenant d'impuretés minérales. Toutefois, ces impuretés minérales sont de plus en plus rares, éliminées qu'elles sont par les procédés industriels modernes d'extraction et de distillation des pétroles.

Tous ces produits toxiques sont surtout abondants au moment de la surpression des moteurs, c'est-à-dire au démarrage. Mais l'évacuation de tous ces gaz ou vapeurs se fait à l'extérieur du bâtiment : seules quelques émanations peuvent se glisser dans l'atmosphère à la faveur de fuites au niveau des joints de culasses, des soupapes de sûreté, des robinets de fumée et de compression. En

fait, ces fuites sont de peu d'importance et constituent actuellement une cause de viciation de l'air pratiquement négligeable.

HUILES DE GRAISSAGE. — Les huiles de graissage, volatilisées par les pièces de moteurs surchauffées, répandent dans le compartiment des machines une odeur particulière, mais l'hygiéniste n'y attache que fort peu d'importance.

Signalons en passant que les odeurs provoquées par les machines : (pétrole, huiles de graissage), ou produites dans les cuisines (huiles, graisses, acroléine des fritures, etc.), sans être dangereuses, sont souvent fort pénibles, précipitant, chez certains sujets prédisposés, les premiers symptômes de la naupathie, par gros temps.

BATTERIES D'ACCUMULATEURS. — Elles ont été et sont encore à l'origine de dégagements gazeux importants dont les méfaits, passés aujourd'hui dans le domaine de l'histoire, ont été parfois retentissants. A base d'acide sulfurique en France, les accumulateurs livrent leur énergie électrique aux moteurs qui assurent la propulsion en plongée. Ils peuvent dégager de l'hydrogène, de l'hydrogène sulfuré, de l'anhydride sulfureux, éventuellement du chlore. Quant à l'hydrogène arsénié et à l'hydrogène antimonié, leur danger a pratiquement disparu de nos jours.

Actuellement les batteries qui sont l'objet d'études et de soins très attentifs de la part des constructeurs sont étanches, de sorte que les gaz qui peuvent s'en dégager ne pénètrent à peu près pas dans l'atmosphère ;

nous aurons d'ailleurs l'occasion de montrer comment est réalisée une ventilation extrêmement sérieuse et spécialement prévue pour le compartiment des accumulateurs. Les lignes qui vont suivre ont donc surtout, à notre sens, un intérêt historique.

Hydrogène. — L'hydrogène ne possède aucune toxicité : indifférent au point de vue physiologique, son danger provient du mélange détonant qu'il peut constituer en s'accumulant dans l'air à une teneur de 7 à 9 % (accident de la *Néréide* en novembre 1925). Des incendies ont pu également se produire (cas du *Souffleur*) ; nous reviendrons d'ailleurs sur ces faits au chapitre des accidents observés à bord.

Ce gaz se dégage surtout des vieilles batteries : il se produit plus particulièrement en fin de charge et en surcharge. Nous verrons bientôt comment on parvient à le déceler, à le doser dans l'atmosphère et à en éviter l'accumulation. Ce dégagement n'est pas régulier ; il varie suivant les types d'accumulateurs et le mode de fabrication.

Si l'hydrogène pur n'est pas toxique, des impuretés minérales peuvent lui conférer des propriétés nouvelles redoutables pour l'organisme. Ces impuretés, fréquentes dans les anciennes batteries, ont été peu à peu éliminées par l'industrie qui ne livre plus que des métaux chimiquement purs. Faisons quelques retours en arrière et voyons un peu à quels dangers s'exposaient les anciens sous-mariniens.

Hydrogène sulfuré. — Ce gaz, d'odeur caractéris-

tique et nauséabonde, tue le chien à la dose de 0,125 %. BELLI et TROCELLO, dans un travail paru en 1908 (1) ont noté une teneur de 0 gr. 00049 de H^2S par m^3 dans l'atmosphère des sous-marins italiens : il va sans dire que cette quantité était beaucoup trop faible pour impressionner dangereusement l'organisme. Les intoxications d'hydrogène sulfuré, si tant est qu'il y en ait eu, n'ont été qu'exceptionnelles.

Hydrogène arsénié. — Nous avons, au chapitre historique, parlé de ses méfaits et montré à quel point il pouvait rendre pénible, sinon dramatiquement dangereuse, la vie à bord à une époque qui n'est pas encore très éloignée. Nous avons cru bon de revenir sur cette question au point de vue technique pour bien montrer combien on s'en était préoccupé. L'hydrogène naissant dégagé au moment de la mise en marche des accumulateurs réagissait sur les impuretés arsénicales de l'acide sulfurique et surtout des plaques et des grilles. Il se produisait alors de l'hydrogène arsénié ($As H^3$) surtout au début de la mise en charge. L'atmosphère pouvait être dangereuse, même à une teneur très faible en toxique (1 pour 100.000). Déjà, au cours de la Guerre, sur certains sous-marins allemands, on avait réalisé une fermeture hermétique des batteries, bac par bac : les gaz dégagés étaient alors isolés dans un compartiment clos puis évacués à l'extérieur. Les Anglais, n'employant que des métaux très purs, avaient, dès la fin de la Guerre,

(1) D^{rs} C. M. BELLI et E. TROCELLO. Viciations et renouvellement de l'air dans les sous-marins. Recherches expérimentales. Archives de Médecine Navale, 1908, tome 90, pages 117-141.

trouvé, bien avant nous, le seul moyen efficace de supprimer l'hydrogène arsénié. En France, on préférait surveiller les dégagements du gaz et s'en débarrasser une fois produit. Le Professeur G. BERTRAND avait mis au point un procédé de détection très sensible basé sur la réaction de GUTZEIT : on plaçait dans les différents compartiments des sortes de tests constitués par des papiers imprégnés d'une solution de bichlorure de mercure ; une très faible quantité d'hydrogène arsénié les faisait jaunir, puis brunir. Ce procédé servait encore à contrôler le fonctionnement de l'appareil TISSOT destiné à absorber le toxique. Branché en dérivation sur le collecteur d'air vicié du compartiment des accumulateurs, cet appareil devait débarrasser l'air de l'hydrogène arsénié au fur et à mesure de son dégagement ; un contact s'établissait entre l'air et de la pierre ponce granulée imbibée de permanganate de potasse qui absorbait l'hydrogène arsénié. La ventilation était réglée à faible allure, de manière à faire circuler dans l'appareil purificateur tout l'air du sous-marin et surtout celui des batteries mises en légère dépression ; ce mode d'absorption du gaz toxique paraissait alors intéressant mais, en fait, son efficacité était loin d'être absolue comme on peut en juger par les intoxications aiguës et chroniques qui se sont produites.

Hydrogène antimonie. — Il se produisait dans les mêmes conditions que l'hydrogène arsénié et possédait, sur l'organisme, une action analogue quoique moins prononcée. Bien qu'en quantité plus importante, dans l'atmosphère, que le précédent, ce toxique atteignait

rarement des concentrations dangereuses ; c'est ainsi que WINLING, sur le *Romazzotti*, avait noté, aux plans d'ouverture des bacs d'accumulateurs, en fin de charge des batteries, une quantité d'hydrogène arsénié de 6 pour 100.000.000 contre 2 pour 1.000.000 d'hydrogène antimonié, donc une teneur bien supérieure mais encore inférieure à celle que KOHN-ABREST, dans son traité de chimie toxicologique, considère comme dangereuse (CAZAMIAN).

Anhydride sulfureux. — Ce gaz qui tue le lapin en 4 heures à la dose de 0,24 % peut être dégagé dans l'atmosphère par les batteries et les moteurs Diesel, mais il est exceptionnel qu'il atteigne des pourcentages suffisants pour devenir dangereux : BELLI n'a pu, au bout de 24 heures de marche, trouver que 0 gr. 314 de SO^2 par mètre cube.

Chlore. — Ce gaz, dont on connaît le pouvoir nocif depuis qu'il s'est rendu tristement célèbre par l'emploi que les Allemands en ont fait en 1915 comme asphyxiant, ne peut être produit qu'accidentellement. Il faut qu'à la suite d'une avarie l'eau de mer pénètre dans les accumulateurs : le chlorure de sodium est alors électrolysé et le chlore s'échappe. L'accident pourrait encore se produire si l'on omettait de fermer les conduites de ventilation au moment de la prise de plongée. Le récit suivant que nous empruntons à nouveau aux « Corsaires sous-marins » de LOWELL THOMAS illustrera mieux qu'un long chapitre les circonstances au cours desquelles le chlore pourrait se dégager :

« Les dégagements de gaz empoisonnés à bord des
« sous-marins étaient alors très dangereux. L'histoire
« que voici en fournit un exemple. Elle m'a été racontée
« par le Commandant Ernst HASHAGEN, un jour que
« nous bavardions ensemble à Hambourg. Le gros et
« joyeux HASHAGEN se trouvait, au printemps de 1916,
« second à bord du sous-marin *U-22*.

« Nous nous trouvions au large de Belfast (Irlande)
« quand surgit, dans un épais brouillard, un croiseur
« anglais. Pas le moindre espoir de pouvoir le torpiller.
« En fait, nous étions le gibier au lieu d'être le chasseur.
« Le croiseur nous a vus, à ouvert le feu et se précipite
« pour nous éperonner. Je ne perds pas une seconde et
« ordonne de plonger à 20 mètres.

« Nous plongeons rapidement et dans de bonnes
« conditions, mais le gouvernail de profondeur fonctionne
« mal. Il y a quelque chose d'anormal. Le bâtiment
« titube, coule tantôt par l'avant, tantôt par l'arrière,
« mais surtout ne s'arrête pas de couler. Nous atteignons
« trente-cinq mètres, cinquante mètres, soixante mètres.
« Si nous continuons ainsi à descendre, nous allons être
« écrasés par l'énorme pression de l'eau. Notre seul
« moyen de remonter est de chasser partout, mais cela
« va nous faire bondir en surface juste sous le nez du
« croiseur. Cependant, toutes ces considérations per-
« dirent de leur importance devant un fait nouveau :
« la toux, l'odeur de chlore me prend à la gorge, tous, à
« bord, nous nous mettons à éternuer. Ma gorge et mes
« poumons sont affreusement brûlés. C'est un supplice
« intolérable. Avez-vous jamais avalé une bouffée de
« chlore ? Eh bien ! n'essayez pas ! Je me suis souvent

« rappelé ces moments effrayants où nous étions à moitié
« suffoqués par ce gaz infernal quand j'ai lu, plus tard,
« les récits horribles de la guerre des gaz dans les tran-
« chées de France.

« Sous la formidable pression de l'eau, nos coutures
« de rivets se sont mises à fuir. L'eau de mer se mélange
« à l'acide sulfurique des batteries. Eau salée et acide
« sulfurique, ce mélange fournit du chlore, le premier
« étudiant venu vous le dira. Si nous restons en plongée,
« nous allons être rapidement asphyxiés par ces vapeurs
« infernales. Je crois que c'est là ce qu'un sous-marinier
« peut redouter le plus. C'est la plus atroce agonie, le
« plus grand danger de la navigation sous-marine, la
« cause des effroyables désastres qui ont marqué les
« débuts de cette arme.

« Chassez partout », s'écrie le Commandant. Il n'y a
« plus à hésiter. Il n'est plus question du croiseur qui
« nous guette. Il faut tout risquer pour essayer d'avoir
« une bouffée d'air frais et pur. Il vaut mieux être fra-
« cassés par l'artillerie et couler tranquillement que de
« continuer à mourir ainsi atrocement. L'*U-22* est pro-
« jeté à la surface. Le croiseur est bien là, toujours dans
« le brouillard. Peu importe. Les panneaux sont ouverts.
« Un air, doux et frais, pénètre à l'intérieur du sous-
« marin. Nous en remplissons nos poumons au point de
« les faire éclater.

« Le croiseur est encore là. Il reste sur les lieux. Il
« ne nous a pas vus. Le brouillard est épais et aveuglant.
« Très bas sur l'eau nous sommes invisibles et en profitons
« pour nous défilier dans la brume ».

PEINTURES. — A ces viciations provoquées par le matériel, nous rattacherons celles causées par les enduits ou peintures utilisés à bord des sous-marins. Contrairement aux précédentes qui n'ont plus guère qu'un intérêt historique, des modifications de la composition de l'air apportées par les peintures peuvent encore aujourd'hui provoquer des troubles graves. Nous nous permettons d'y insister quelque peu en raison de l'importance de ces faits.

Production d'oxyde de carbone par les peintures. — Des accidents de cette origine ont été observés dans des compartiments clos de navires de guerre : doubles fonds, bulges, etc. A notre connaissance de pareils faits ne se sont pas encore produits sur les sous-marins, mais rien n'empêche qu'un jour ou l'autre une déficience de la ventilation ne puisse en provoquer. Des recherches chimiques effectuées dans des espaces clos, dont les parois intérieures avaient été enduites de peinture à l'huile de lin et à l'oxyde de fer, ont mis en évidence une absorption de l'oxygène par ces produits : en même temps, on constatait un dégagement d'oxyde de carbone pouvant s'élever jusqu'à 0,27 %. Dans un bulge de bâtiment de guerre la quantité d'oxygène s'était abaissée de 1,3 % et celle d'oxyde de carbone était passée à 0,03 % : un cobaye y mourait d'anoxémie aiguë. Il semble que la mort doive être attribuée à une intoxication par CO accélérée par la diminution d'oxygène. Pratiquement, ces viciations chimiques sont trop lentes à se produire et trop modestes pour déterminer des troubles morbides

ailleurs que dans des espaces hermétiquement clos et non ventilés.

Viciations atmosphériques par le bitume-mastic. — Le bitume-mastic est employé à la fois comme enduit protecteur des métaux contre la rouille et comme peinture. Les qualités qui le font préférer à beaucoup d'autres revêtements sont sa résistance aux altérations chimiques et sa dilatation facile qui l'empêche de s'écailler aux variations de température. Sur les sous-marins, le bitume-mastic est fréquemment utilisé pour revêtir l'intérieur des ballasts et caisses de plongée, les surfaces métalliques exposées aux attaques de l'humidité ou d'émanations diverses. C'est un produit à base de goudron de houille (coaltar) et de benzol, ce dernier servant à délayer le coaltar. Accessoirement, il s'y rencontre des hydrocarbures. Le coaltar, de composition complexe, renferme de l'ammoniaque, des bases pyridiques, des carbures, benzènes ou analogues (naphtalène, anthracène, phénanthrène et fluoranthrène), des phénols (phénol, cresylol). Nous y reviendrons dans le chapitre consacré à la pathologie à bord des sous-marins. Disons seulement ici, pour ne pas anticiper, que les accidents se produisent surtout en atmosphère confinée et surchauffée, l'excès de température déterminant un dégagement plus ou moins notable de produits toxiques.

Telles sont les principales altérations chimiques de l'air provenant des appareils. Comme on le voit, elles étaient sérieuses, surtout autrefois. De nos jours, les progrès de l'Industrie sont heureusement parvenus à

éviter la plupart d'entre elles, et là, comme nous le verrons plus loin, les procédés de ventilation diminuent l'importance des autres.

DÉTECTION DES GAZ (hydrogène, acide carbonique, vapeurs d'hydrocarbures). — De nombreux appareils ont été utilisés à bord des sous-marins pour la détection des gaz dangereux ou nocifs répandus dans l'atmosphère. Tous n'ont pas donné entière satisfaction, quelques-uns, toutefois, se sont avérés suffisamment pratiques et précis pour pouvoir être utilisés couramment. L'appareil TISSOT a été employé longtemps pour la recherche et le dosage de l'acide carbonique et de l'hydrogène ; malheureusement, de maniement délicat, il exige une grande habitude, et, de plus, ne donne pas des chiffres toujours comparables. La Marine américaine utilise l'appareil HIGGINS et ELLIOTT.

Pour la détection de l'hydrogène, les Américains se servent de l'appareil BURREL qui peut être également utilisé pour mettre en évidence les vapeurs d'essence.

Mais, tous ces instruments n'ayant pu donner les résultats qu'on en attendait se sont effacés devant l'analyseur de gaz VALLERY-ROSELLO, dont nous donnerons le principe.

Les analyseurs de gaz dans les laboratoires ou dans l'Industrie peuvent être classés en deux catégories, suivant le principe de leur fonctionnement :

a) appareils à mesure indirecte, ainsi appelés parce qu'ils utilisent les propriétés physiques (osmose, visco-

sité, réfraction de la lumière, conductibilité thermique). Employés couramment dans l'Industrie, ils ont le grave défaut de se dérégler très facilement ;

b) appareils à mesure directe mettant en jeu les propriétés chimiques des gaz (absorption par un réactif approprié, combustion sur un catalyseur suivie ou non d'absorption) ; en mesurant la variation de volume ou de pression déterminée par ces opérations chimiques, on obtient exactement le pourcentage du gaz à doser dans le mélange. Très précis, ils sont malheureusement délicats, fragiles et souvent encombrants. L'appareil breveté VALLERY-ROSELLO appartient à cette seconde catégorie.

Un volume d'air connu, prélevé dans l'atmosphère à analyser, est enfermé dans une enceinte close, puis mis au contact d'un réactif qui provoque la combustion ou l'absorption du gaz à doser. La pression diminue dans l'enceinte proportionnellement à la teneur du gaz à rechercher. La réaction de combustion est lente mais régulière. Un manomètre permet de déterminer la variation de pression au bout d'un temps donné qui doit toujours être le même, la dénivellation observée fournit le résultat demandé. L'échelle manométrique est graduée expérimentalement en volume de gaz pour 100 volumes d'air prélevé.

Ainsi conçu, l'appareil VALLERY-ROSELLO, d'un maniement facile, ne nécessite qu'un minimum de manipulations. Son emploi est actuellement à peu près généralisé sur les sous-marins, d'autant qu'on peut l'utiliser comme :

a) carbonimètre étalonné pour permettre des dosages entre 0 et 5 % ; la potasse sert de réactif ;

b) hydrogénomètre : son réactif est alors l'amiante palladiée. Il est étalonné pour des mesures de teneurs variant entre 0 et 8 % ;

c) analyseur de vapeurs d'hydrocarbures étalonné entre 0 et 4 %.

C. — ALTÉRATIONS D'ORDRE PHYSIQUE

PRESSIION DE L'ATMOSPHÈRE. — Nombreux sont ceux qui s'imaginent que la plongée soumet l'organisme à des variations de pression importantes et que les conditions physiologiques à bord des sous-marins se rapprochent de celles des scaphandriers, des plongeurs ou des pêcheurs de perles. Or, il n'en est rien : le sous-marin, qui est hermétiquement clos pendant la plongée, conserve sensiblement, à son intérieur, la pression atmosphérique. Evidemment, à mesure qu'il descend, sa coque subit un accroissement de pression d'environ 1 kg par 10 mètres de profondeur et par centimètre carré de surface. La profondeur d'immersion est donc réglée par le degré de résistance de la coque : c'est par la seule rigidité de celle-ci que le bâtiment résiste à l'énorme pression de l'eau. Qu'un accident quelconque conduise à une immersion exagérée et le sous-marin est littéralement écrasé par la pression de l'eau que sa coque ne peut plus équilibrer.

En principe, la pression de l'air intérieur doit donc se

maintenir égale à la pression atmosphérique au moment de l'immersion. Pratiquement, on observe les variations suivantes :

En plongée, il est habituel de constater, au bout de quelques minutes, une surpression de plusieurs millimètres de mercure pouvant s'élever jusqu'à un centimètre. Cette augmentation est causée par des fuites qui se produisent fatalement sur les tuyautages d'air comprimé, les caisses de réglage et d'assiette. Les purges des ballasts de plongée rapide qui s'ouvrent à l'intérieur contribuent également à cette surpression. Il est facile de ramener la pression à la normale par la mise en marche des compresseurs d'air, ce qu'on fait habituellement, sauf en temps de guerre pour éviter le bruit, lorsque l'élévation dépasse 8 millimètres. Mais, comme on le voit, cette augmentation de pression est trop modeste pour pouvoir présenter un inconvénient quelconque pour l'organisme.

Lorsque le bâtiment fait surface, au moment de l'ouverture des panneaux, la pression qui avait pu s'élever de quelques millimètres, sans qu'on ait jugé bon d'actionner les compresseurs, est brusquement rabaisée au taux de la pression extérieure. Cette dépression subite n'est pas sans provoquer parfois une sensation auriculaire fort désagréable. Il est curieux au moment de l'émersion, de voir le personnel du sous-marin s'obturer les oreilles et ouvrir la bouche pour diminuer l'effet douloureux du choc tympanal. Celui-ci se produit inévitablement sous l'effet d'une chute brutale de la pression dans l'oreille externe ; il faut, pour l'éviter, réaliser la même variation de pression dans l'oreille moyenne et,

pour cela, mettre cette dernière en communication avec l'air extérieur par l'ouverture de la bouche. On s'explique, dès lors, facilement, pourquoi on exige des sous-mariniens l'intégrité de l'appareil auditif et la perméabilité de la trompe d'Eustache. L'ouverture lente des panneaux évite une chute trop brusque de la pression.

Nous avons eu la curiosité de noter à deux reprises, au cours de nos plongées, les variations de pression; nous rapportons les chiffres relevés à intervalles réguliers :

1^o *Plongée de 35 minutes effectuée par le sous-marin X...* : immersion 12 mètres :

11 heures : prise de plongée, pression barométrique.....	764	$\frac{m}{m}$
Après fermeture des panneaux dépression immédiate	763	$\frac{m}{m}$
11 heures 10	764	—
11 heures 15	764,5	—
11 heures 20	765	—
11 heures 25	765	—
11 heures 30	765,5	—
11 heures 35 ouverture des panneaux, chute brusque à.....	764	—

Les compresseurs n'ont pas été mis en marche.

2^o *Plongée de 1 heure 30 effectuée par le sous-marin Y...* : immersion 12-15 mètres :

16 heures : prise de plongée pression barométrique	753	$\frac{m}{m}$
--	-----	---------------

16 heures 10	755,5 m/m
16 heures 14	761 —
mise en marche des compres- seurs.	
16 heures 20	753 —
arrêt des compresseurs.	
16 heures 30	753 —
16 heures 40	754 —
16 heures 50	755 —
17 heures	756,4 —
17 heures 10	756,7 —
17 heures 20	758 —
17 heures 30	758 —
ouverture des panneaux :	
chute immédiate à.....	755 —

Nous donnons ci-dessous la reproduction d'une courbe tracée par le baromètre enregistreur au cours d'une plongée de longue durée effectuée par le sous-marin Z... .

En surface, certaines variations peuvent encore se produire, les unes normales, les autres accidentelles.

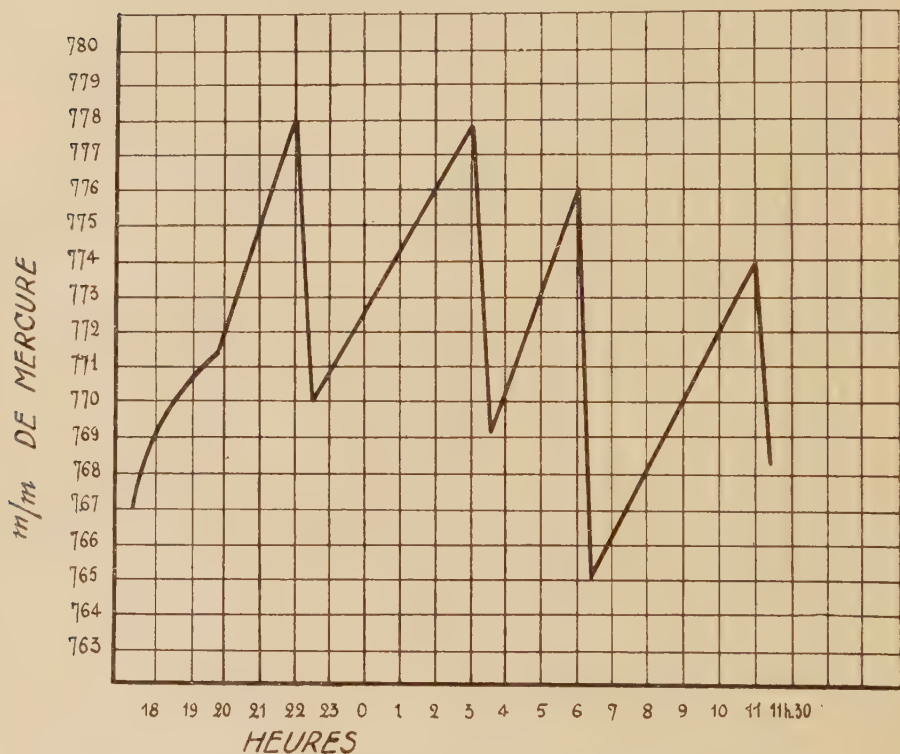
Il est fréquent d'observer une surpression dans certains compartiments de l'avant, du fait de l'engouffrement de l'air à bord par les panneaux du poste central et du sas, mais cette élévation de pression est toujours très modérée et pratiquement négligeable.

Exceptionnel, mais beaucoup plus curieux, est le fait observé sur le sous-marin Xb... au cours de sa croisière d'entraînement aux Antilles.

Il naviguait en surface par gros temps avec un seul

panneau ouvert. Un paquet de mer vint subitement recouvrir cette unique communication avec l'extérieur.

Il se fit alors une dépression si brusque que tout l'équi-



Plongée de longue durée du Z... : pression barométrique (poste central).

page ressentit une vive douleur auriculaire : trois hommes eurent même une déchirure du tympan. Cet incident s'explique ainsi : on sait que les moteurs Diesel réalisent une violente aspiration d'air ; le panneau étant brusquement obturé, il s'en était suivi une chute brutale

et suffisamment accentuée de la pression intérieure pour causer un violent traumatisme du tympan.

THERMOMÉTRIE. — Plusieurs facteurs tiennent sous leur dépendance la température de l'atmosphère à bord des sous-marins; énumérons-les rapidement avant d'en étudier le résultat.

Élévation de la température. — L'entassement de l'équipage dans des locaux peu spacieux, où il faut souvent fournir un travail considérable, n'est pas sans contribuer à l'élévation de la température. On sait, en effet, qu'un homme adulte, au repos, dégage par kilogramme de poids et par heure : 1,5 calorie, ce qui donne, en moyenne, 2.500 à 2.600 calories par 24 heures pour un homme pesant environ 70 kilos. Le travail musculaire ajoute environ 1.400 calories. Toutefois la quantité de chaleur rayonnée ne dépasse pas 80 %, le reliquat correspond à la chaleur dite latente (1). Naturellement ces chiffres ne sont valables que si le sujet est en équilibre de nutrition.

Nous avons cru intéressant de donner ces précisions car, à la réflexion, le sous-marin en plongée nous paraît réaliser les caractéristiques du calorimètre d'ATWATER et pourrait parfaitement constituer pour les physiologistes, dans des conditions déterminées, à la fois une chambre calorimétrique pour l'étude de la chaleur ani-

(1) La chaleur latente est celle qui sert à réchauffer les aliments, les boissons, l'air inspiré et qui correspond à l'absorption de l'eau à la surface des poumons et de la peau (HEDON).

male et une chambre respiratoire pour celle des échanges.

Mais parmi toutes les sources thermiques qui se trouvent à bord, la première place revient incontestablement aux appareils de propulsion. Ce sont, en effet, les moteurs électriques en plongée, dès que le courant inducteur est élevé, les Diesels en surface et les accumulateurs, surtout en fin de charge, qui dégagent le plus de chaleur. Comme nous le verrons tout à l'heure, les compartiments des moteurs et leur voisinage fournissent les chiffres de température les plus élevés.

Parmi les causes accessoires d'élévation de température signalons : la cuisine électrique, les appareils de chauffage, les nombreuses ampoules électriques disséminées dans tout le bord, les boîtes à soude en activité dont la réaction avec l'acide carbonique dégage de la chaleur, en faible quantité il est vrai.

Tels sont les facteurs thermogénétiques intérieurs, et propres au sous-marin, à peu près invariables.

Il convient toutefois de faire état des facteurs extérieurs : température de l'air aspiré par la ventilation en surface, irradiations du soleil également au cours de la navigation en surface (JONES et MANKIN, U.S. Naval Medical Bulletin, Juin 1924, page 759) : sous les tropiques la chaleur solaire chauffe la coque d'une façon parfois excessive.

Abaissement de la température. — La déperdition de chaleur à bord d'un sous-marin est essentiellement due au rayonnement : celui-ci s'opère dans l'eau qui, comme on le sait, conserve une température sensiblement

constante. C'est de l'équilibre réalisé entre les facteurs calorifiques et la déperdition de chaleur par rayonnement que dépend la température de l'atmosphère intérieure du sous-marin. La perte de calorique par la coque est suffisante pour compenser certains facteurs d'élévation thermique, surtout en plongée ; les mouvements du bâtiment empêchent d'ailleurs l'échauffement de la couche d'eau qui l'entoure. En surface, la ventilation, dans les pays froids ou tempérés, apporte un degré de fraîcheur important, mais, en plongée, il ne faut pas compter sur elle car le simple brassage de l'air qu'elle réalise alors ne peut avoir qu'une influence illusoire sur la température. Les ventilateurs électriques qui favorisent l'évaporation de la sueur n'ont qu'un rôle subjectif et fournissent une sensation de bien-être tout à fait provisoire. Seuls les procédés de conditionnement de l'air peuvent avoir un rôle efficace sur le rafraîchissement de l'atmosphère. Nous en parlerons en détail en raison du progrès qu'ils constituent et du bien-être considérable qu'ils ont apporté au personnel.

Résultats. Mesures de la température intérieure. — Les compartiments les plus chauds à bord sont : les électriques supérieurs, l'arrière-Diesels, les électriques inférieurs, la cuisine électrique en fonctionnement. Toutefois, ces indications peuvent varier suivant la répartition des appareils dans le bord. C'est ainsi que sur le *Zf...* les plus fortes températures ont été relevées dans le compartiment des auxiliaires milieu qui renferme de nombreuses résistances électriques et se trouve, de plus, au voisinage des cuisines.

Dans les pays chauds, les électriciens et les mécaniciens travaillent donc dans des postes surchauffés. Le compartiment du *Zf*... auquel nous faisons allusion il y a un instant n'a jamais vu sa température descendre au-dessous de 37° au cours d'une croisière aux Antilles et, sur le sous-marin de 1.500 tonnes *Xg*..., on a relevé jusqu'à 48° aux moteurs électriques au cours d'une croisière analogue. Sur le *Glorieux* et le *Héros* on avait installé un ventilateur portatif aux électriques supérieurs où régnait une température de 48°; on dut en abandonner l'emploi, les trombes d'air brûlant déterminant des érythèmes du visage chez les hommes appelés à travailler dans son voisinage. Aussi les membres de l'équipage, à la fin de leur quart aux machines, se précipitent-ils, insuffisamment couverts, sur la passerelle pour trouver la fraîcheur (on doit alors, si l'on veut éviter de nombreuses affections pulmonaires, les obliger à se couvrir). Dans de pareilles conditions, des cas de coups de chaleur ont été signalés. Disons en effet que ces élévations thermiques sont d'autant plus pénibles que la tension de la vapeur d'eau dans l'atmosphère est plus haute : c'est précisément ce qui se produit sur les sous-marins comme nous le verrons au paragraphe suivant.

Le poste arrière est plus chaud d'environ 2° que le poste avant en raison de son voisinage avec le compartiment des électriques.

Les locaux les moins chauds sont d'ordinaire : la soute à munitions, le poste des maîtres assez spacieux et suffisamment bien ventilé.

Mais ce sont là des indications très relatives que de

nombreuses circonstances peuvent modifier : influence des saisons, du climat, du mode de navigation (en plongée ou en surface), etc... Nous avons parlé de la température souvent excessive que l'on observe dans les pays chauds, heureusement il n'en est pas toujours ainsi : dans les pays tempérés, sur les côtes de l'Atlantique par exemple, la température est supportable et celle des compartiments les plus chauds n'excède pas 25° à 27°. En hiver, au mouillage lorsque les moteurs sont arrêtés, il fait froid à bord et nous avons personnellement observé des cas de bronchites et d'angines par refroidissement chez des hommes qui avaient fait le quart de nuit à bord de sous-marins au mouillage ou, ce qui est pire encore, au bassin de radoub dans des conditions où le chauffage n'est plus possible.

En plongée, nous l'avons montré, la température intérieure tend à se mettre en équilibre avec celle de l'eau et à s'uniformiser dans tous les compartiments. Toutefois, en raison des modifications apportées dans la ventilation par la prise de plongée, la température s'élève souvent d'environ 2 à 3° : elle se stabilise ensuite à partir du moment où l'équilibre thermique se réalise entre la production de chaleur et le rayonnement.

Dans tous les pays froids ou tempérés, le thermomètre peut même descendre de plusieurs degrés au cours d'une plongée de longue durée. Dans les pays chauds, la température des locaux d'habitation (postes d'équipages et des maîtres, logement des officiers) est en moyenne de 2 ou 3° plus élevée que celle de l'eau de mer et dans les eaux tropicales cet excédent dépasse rarement 5°, sauf si la cuisine électrique entre en service.

HYGROMÉTRIE. — Chacun sait qu'une température élevée est d'autant plus pénible qu'elle s'accompagne d'une humidité plus importante. Il convient donc d'étudier, ici, ce nouvel élément atmosphérique des sous-marins, d'abord en lui-même, ensuite dans ses rapports avec la thermométrie. Disons, dès maintenant, que le problème de la chaleur et celui de l'humidité sont étroitement liés dans le domaine de la pratique.

Le degré hygrométrique exprime le rapport entre la teneur en vapeur d'eau de l'atmosphère et la teneur de saturation à la même température, cette dernière étant conventionnellement définie par le chiffre 100.

L'humidité dans les sous-marins est très grande, souvent excessive, l'air étant parfois complètement saturé. A l'humidité de l'atmosphère marine s'ajoute celle que dégage la respiration et la transpiration du personnel. N'oublions pas qu'un homme travaillant modérément émet en une heure, par la respiration et la transpiration, 125 grammes d'eau. La cuisine électrique de plongée est également une source de vapeur d'eau.

En surface, le degré hygrométrique varie suivant les compartiments. Le poste avant est de beaucoup le plus humide, viennent ensuite le poste arrière et la cambuse située au-dessous et à l'avant du poste des maîtres : on conçoit que cette humidité puisse nuire à la conservation de certaines denrées, en particulier du pain biscuité. C'est au compartiment des moteurs électriques qu'on trouve l'atmosphère la plus sèche.

En plongée, le degré hygrométrique augmente rapidement et, comme la température, tend à s'uniformiser dans les divers compartiments. Très vite la saturation

en vapeur d'eau est atteinte, surtout dans les mers chaudes. Dans son rapport médical de la croisière du *Glorieux* et du *Héros* (1935) le D^r LE GAC a rapporté qu'au cours d'une plongée de 12 heures effectuée dans le détroit de Malacca, la sueur des hommes ruisselait jusqu'au parquet et devait être essardée au faubert (1) et dans un seau. La condensation de l'humidité se fait alors le long des parois par refroidissement de la coque. Le poste avant est le siège d'un ruissellement abondant, surtout lorsque fonctionne la cuisine de plongée qui l'avoisine. L'eau tombe parfois en véritable pluie sur les couchettes qui s'imbibent. Sur le *Pascal* on a dû, dans certains cas, installer des sortes de bâches pour protéger les dormeurs.

La lutte contre l'humidité est difficile et pose des problèmes techniques très sérieux. On a proposé des palliatifs qui peuvent avoir un certain intérêt : l'écartement des couchettes et des sièges habituels de travail des parois où l'eau se condense, le revêtement des mêmes parois d'une couche isolante de bois, de liège, de carton d'amiante ou d'un lambrissage séparé de la coque par un espace pouvant être ventilé (CAZAMIAN). On devrait proscrire les peintures vernissées. Ce sont là de petits moyens. Peut-être pourrait-on éviter la dispersion de la vapeur d'eau de la cuisine électrique en dotant cette dernière d'une ventilation renforcée munie d'un petit réfrigérateur.

Pour se débarrasser de l'humidité plusieurs procédés

(1) Nom donné dans la Marine au balai grossier utilisé pour les gros travaux.

ont été proposés, quelques-uns essayés sans grand résultat, D. N. CARPENTER in U. S. *Naval Medical Bulletin* (Janvier 1928) a imaginé un système de réfrigération avec dessiccation de l'atmosphère : l'air traversant un tuyau passant à l'extérieur, sur le pont, serait à la fois rafraîchi et débarrassé par condensation de sa vapeur d'eau. La Marine italienne utilise des boîtes qui purgent l'air en même temps du gaz carbonique et de la vapeur d'eau. Ces boîtes, branchées sur le circuit de ventilation, contiennent un granulé composé de soude, de potasse, d'acide sulfurique, d'acide chlorydrique et d'eau. Dans le même ordre d'idée, le D^r DUPAS a proposé d'intercaler, sur le réseau d'air vicié, des boîtes de silicate de calcium capables d'absorber l'humidité (1). En fait, le seul remède efficace a été apporté par le conditionnement de l'air qui, du même coup, réalise, pour le plus grand bien des hommes, le rafraîchissement et la dessiccation de l'atmosphère.

CHALEUR ET HUMIDITÉ. — Ce sont elles qui rendent le séjour à bord des sous-marins, en pays chauds, si pénible et si débilitant. On conçoit aisément que cette chaleur, saturée d'humidité, réalise les conditions capables de provoquer : coups de chaleur, crampes des chauffeurs, lipothymie, et plus fréquemment de l'indolence et des syndromes de fatigue générale en même temps qu'elle favorise un intense développement microbien. On a dû, dans certains cas, diminuer le temps de plongée, tant

(1) Les boîtes à soude dont nous parlerons ultérieurement absorbent une certaine quantité de vapeur d'eau en plus du gaz carbonique.

les conditions de vie devenaient infernales. Aussi, cette double question de la chaleur et de l'humidité a-t-elle préoccupé les constructeurs qui lui ont apporté, par la climatisation de l'atmosphère, la solution la plus logique.

Nous avons cru bon de donner ici quelques relevés des températures et degrés hygrométriques pris dans diverses circonstances :

1° Températures prises dans différents locaux du Zf... au cours d'une croisière de quatre mois en pays chauds.

	Températures relevées à un mois d'intervalle			
Températures de l'eau ..	25°	27°5	29°	23°
Poste des maîtres	32°	32°	32°/78	30°
Poste avant	30°	32°	32°/76	29°
Poste arrière	32°	33°	31°/68	28°
Auxiliaires avant	33°	48°	34°	31°
Auxiliaires milieu	41°	41°	42°/40	39°
Auxiliaires arrière	35°	35°	35°	30°
Diesels	36°	38°	37°	37°
Moteurs électriques	31°	36°	32°	30°
Cuisines	38°	38°	39°	35°
Appartements des officiers	31°	32°	34°/66	32°

(Les chiffres qui suivent les températures sont des degrés hygrométriques).

2° Températures relevées sur le Xg... au cours d'une plongée de 6 heures effectuée dans la mer des Antilles : Température de l'eau : non signalée.

	6 h. 45	7 h. 30	8 h. 30	9 h. 30	10 h. 30	11 h. 30	12 h. 30
Poste avant	26°	28°	29°	30°	32°	34°	34°
Poste central	29°	30°5	32°	34°	34°	35°	35°
Diesels	32°	33°5	33°5	34°	34°	34°	35°
Moteurs électriques ..	35°	37°5	38°	39°	40°	40°	40°
Poste arrière	28°	29°5	30°	30°5	30°5	31°	31°

3^o Températures et degrés hygrométriques relevés au cours d'une plongée de 8 heures effectuée par le Zf... dans le golfe de Guinée

Température de l'eau : 29°

	6 h.	8 h.	9 h.	10 h.	11 h.	12 h.	13 h.	14 h.
Infirmerie	31°/84	33°/100	35°/100	35°/100	35°/100	36°/100	35°/100	35°/96
Poste avant	31°/93	33°/100	34°/100	36°/100	35°/100	36°/100	36°/100	35°/100
Poste des maîtres	33°/90	34°/100	35°/100	36°/100	35°/100	35°/100	35°/100	36°/100
Poste arrière	32°/70	36°/100	37°/100	37°/98	36°/100	37°/100	37°/100	37°/100
Auxiliaires milieu	37°/39	43°/56	40°/70	45°/75	45°/76	45°/78	44°/76	45°/80
Poste central	33°/80	33°/100	35°/100	35°/100	35°/100	35°/100	35°/100	36°/100
Appartements des officiers	33°/58	35°/95	36°/96	36°/95	36°/95	36°/95	36°/96	37°/96
Auxiliaires avant	36°	36°	36°	38°	37°	37°	37°	37°
Auxiliaires arrière	33°	35°	34°	35°	35°	35°	34°	35°
Diesels	41°	42°	42°	41°	40°	40°	40°	40°
Moteurs électriques	35°	36°	36°	36°	36°	36°	37°	36°
Cuisines	36°	37°	39°	43°	41°	41°	40°	40°

Cette plongée a été très pénible, surtout pour le personnel ayant eu à accomplir un effort physique, même minime.

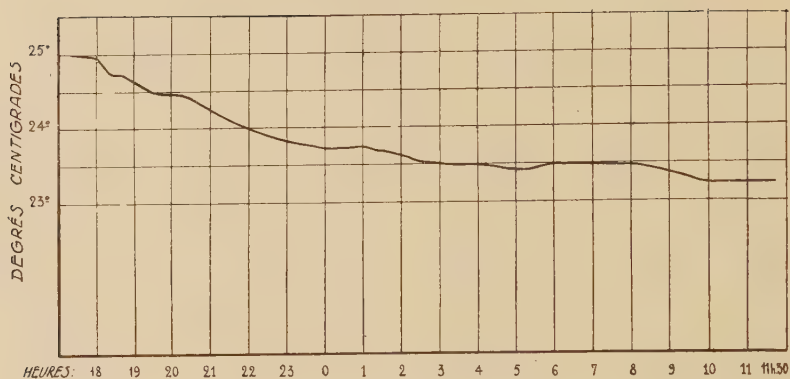
4° *Températures et degrés hygrométriques relevés au cours d'une plongée de 18 heures effectuée par le Z... au voisinage de Brest. (Relevés effectués au Poste Central.)*

(Le chiffre placé à la suite du degré hygrométrique indique la teneur en grammes de vapeur d'eau par m³).

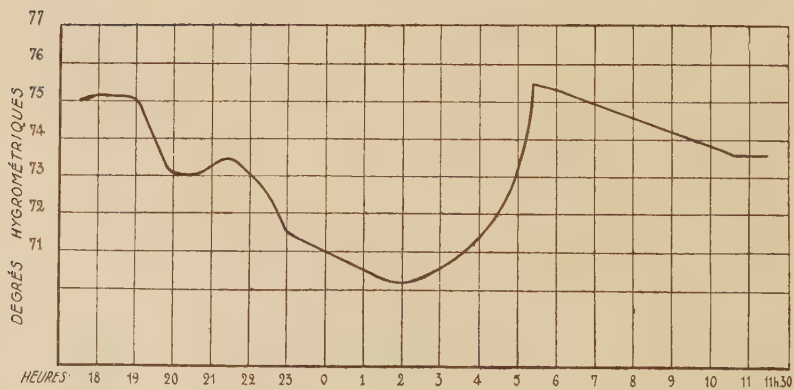
Heures	Tempér.	Degré hydr.	Heures	Tempér.	Degré hygrom.
17 h. 30	25°	75 -17,12	3 h.	23°5	70,4-14,77
18 h.	24°9	75 -17,03	4 h.	23°5	71 -14,89
19 h.	24°6	75 -16,74	5 h.	23°4	73 -15,23
20 h.	24°5	73 -16,21	6 h.	23°5	75,3-15,78
21 h.	24°3	73 -16,02	7 h.	23°5	74,9-15,71
22 h.	24°	73 -15,75	8 h.	23°5	74,5-15,63
23 h.	23°8	71,6-15,28	9 h.	23°4	74,1-15,46
24 h.	23°7	71 -15,06	10 h.	23°2	73,8-15,21
1 h.	23°7	70,5-14,96	11 h.	23°2	73,5-15,16
2 h.	23°6	70,2-14,81	11 h. 30	23°2	73,5-15,16

ODEURS. — Lorsqu'on pénètre à l'intérieur du sous-marin, au moment de la prise de plongée, par exemple, on est impressionné par une odeur indéfinissable, due au mélange de produits volatils venus des moteurs (gaz oil, pétrole, huiles de graissage) et qui s'accroît lorsqu'on se dirige vers le poste avant où s'ajoutent des émanations provenant de la cuisine et des poulaines toutes proches. Après un certain temps de plongée, ces odeurs deviennent plus pénétrantes encore. Il est hors de doute qu'en plus du désagrément qu'elles causent au personnel, elles favorisent, dans un milieu souvent chaud et humide, le mal de mer, et ajoutent encore un élément au dégoût qu'ont les sous-mariniens pour les vivres de conserve. On a cherché à y remédier en évi-

TEMPÉRATURES



HYGROMÉTRIE



tant la cuisson de certains aliments à odeur forte (choux, fritures, etc...) et en utilisant des repas tout préparés qui ne nécessitent, avant d'être servis, qu'un simple chauffage ; on a également pulvérisé des produits parfumés « Purodor » par exemple (1), mais une propreté rigoureuse du bâtiment, en particulier des cuisines, où ne doit traîner aucun détrit, des postes d'équipage et des poulaines, ainsi qu'une ventilation appropriée en surface, sont les moyens les plus efficaces de réduire au minimum les émanations désagréables.

D. — VICIATIONS D'ORDRE BACTÉRIOLOGIQUE

Il est permis de se demander si le confinement ne contribue pas à un développement important, voire dangereux, des germes microbiens, dans une atmosphère humide où le soleil ne pénètre jamais. De nombreuses recherches ont prouvé que le microbisme n'est pas, dans le sous-marin, plus important que dans n'importe quel autre local habité. KRESS, de la Marine américaine, a montré que pendant la plongée, le nombre de micro-organismes contenus dans l'air est inférieur à celui relevé quand, en surface et à quai, la ventilation aspire l'air extérieur (CAZAMIAN). Comme ailleurs on trouve, à

(1) De nombreux produits désodorisants ont été essayés sans succès, leur odeur propre s'ajoute d'ailleurs à celles qui proviennent du sous-marin. Sur certains bâtiments de surface, *Dunkerque* par exemple, on a employé, pour détruire l'odeur des poulaines, de petits appareils producteurs d'ozone dont l'avantage serait réel.

l'analyse, dans l'atmosphère des sous-marins, des germes variés, mais de nature banale et sans importance particulière.

Des analyses d'air effectuées sur le sous-marin *Yb...* à Brest, ont donné les résultats suivants, qui nous ont été obligeamment communiqués par le D^r QUÉRANGAL DES ESSARTS, médecin principal de la Marine :

(Procédé de MIQUEL aux bourres solubles de sulfate de soude. Prélèvement de 10 litres d'air. Ensemencement sur gélose et gélatine).

Poste avant : après 2 heures de plongée :

Température : 23°,

5.000 germes au mètre cube.

Poste arrière : 4.200 germes au mètre cube.

Espèces isolées : staphylocoques blancs, tétragènes, cocci Gram—type pharyngis, bacilles Gram + type cutis, subtilis, moisissures et nombreuses levures.

Inoculation au cobaye du produit de lavage d'une bourre insoluble au sable dans laquelle on avait fait passer 50 litres d'air (prélevés dans le compartiment des électriques) : résultats négatifs, pas d'abcès au point d'inoculation, pas de lésions tuberculeuses ou autre à l'autopsie de l'animal après incubation de 45 jours.

D'autres analyses ont donné des résultats analogues. Dans un sous-marin en plongée le microbisme de l'atmosphère tend à s'égaliser dans tous les compartiments du fait de la ventilation. Des recherches faites en surface ont donné des résultats semblables à celles effectuées en plongée. A plusieurs reprises, des cobayes ont été inoculés avec de l'eau de condensation prélevée sur des

surfaces métalliques pour la recherche de bacilles de Koch : toutes ces recherches ont été négatives.

3° ASSAINISSEMENT DE L'ATMOSPHÈRE

Nous avons, dans le chapitre précédent, analysé tous les facteurs de viciation de l'atmosphère. Il convient, maintenant, d'étudier les remèdes, difficiles à appliquer puisque le sous-marin représente un local clos, encombré, où la pénétration, et par conséquent le renouvellement naturel de l'air, est d'une réalisation délicate. On a dû recourir à des moyens artificiels qui n'ont cessé de se perfectionner au point de donner actuellement presque entière satisfaction.

Nous distinguerons deux cas : la navigation en surface et la plongée.

Dans la navigation en surface, on peut réaliser par l'aération, et surtout par la ventilation, un circuit d'air destiné à renouveler l'atmosphère intérieure au fur et à mesure de sa viciation ; dans la plongée, toute communication étant supprimée avec l'extérieur, la ventilation se borne à un simple brassage de l'air, il faut donc recourir à la régénération. Nous verrons comment on peut faire plus et apporter un facteur de bien-être et de confort par ce qu'on désigne habituellement sous le nom de conditionnement ou mieux de climatisation de l'atmosphère.

AÉRATION ET VENTILATION

Il convient, tout d'abord, d'établir une distinction entre ces deux termes. Nous appellerons « aération » la pénétration et la sortie naturelles de l'air, et nous réserverons le terme de « ventilation » aux moyens artificiels utilisés pour assurer la mise en mouvement et le renouvellement plus efficace de l'atmosphère. Il va sans dire que l'aération ne peut s'appliquer qu'en surface. La ventilation, nécessaire en toutes circonstances, se modifie complètement lorsqu'on passe de la navigation en surface à la plongée.

A. — AU MOUILLAGE ET EN SURFACE

Aération

Elle se fait par des ouvertures, appelées panneaux d'accès, ménagées à la partie supérieure de la coque épaisse et munies de capots de fermeture étanche. Ces ouvertures sont circulaires ; leur occlusion, avant la prise de plongée, est assurée par une sorte de calotte sphérique en tôle (capot) dont l'axe de rotation est orienté de telle sorte que la fermeture s'effectue sous l'action de l'eau en cas de plongée intempestive. Le mécanisme de fermeture est différent suivant les panneaux (à écrous, à oreilles, à vis, parfois automatique). Les manœuvres sont facilitées par des contrepoids. La fermeture correcte doit aboutir à une étanchéité abso-

lue ; aussi provoque-t-elle automatiquement l'allumage d'une lampe-témoin.

Les panneaux d'accès, dont le diamètre varie de 0 m. 60 à 0 m. 80, sont au nombre de cinq :

le panneau avant pour le poste avant ;

le panneau des officiers en avant du kiosque ;

le panneau arrière pour le poste arrière ;

le panneau du kiosque situé au-dessus du poste central sur la passerelle de la baignoire (un panneau dit de sécurité est interposé entre le poste central et le kiosque) ;

le panneau du sas de scaphandrier dont nous parlerons au chapitre du sauvetage.

Disons tout de suite que ce dernier panneau joue, en raison de sa situation surélevée au-dessus du compartiment des machines, un rôle important pour l'aération des moteurs : en particulier, il permet l'aspiration de l'air nécessaire aux Diesels.

On accède à ces panneaux par des échelles métalliques verticales.

Certaines ouvertures, généralement obturées et réservées à l'embarquement du matériel, peuvent, dans des cas particuliers, être utilisées au renforcement de l'aération.

Au mouillage, tous les panneaux sont, en principe, ouverts ; l'aération est donc assez satisfaisante puisqu'il s'établit, dans tout le bord, un courant d'air frais et pur. A noter que, si les postes de l'équipage et des maîtres sont à peu près largement pourvus d'air frais, on ne peut en dire autant des chambres d'officiers. Aussi

a-t-on préconisé la suppression de la partie supérieure des cloisons entre les chambres et la coursive pour permettre une meilleure aération naturelle (LE GAC).

A la mer, lorsque le bâtiment navigue en surface, seuls les panneaux centraux (du kiosque et du sas) restent ouverts (1) mais, en raison du compartimentage, ils n'aèrent guère que le poste central et l'avant des Diesels. Par très gros temps on est parfois obligé de fermer tous les orifices pour éviter l'introduction de paquets de mer.

Ventilation

Cette insuffisance de l'aération montre que la ventilation doit être normalement établie en surface.

BUTS ET CONDITIONS DE LA VENTILATION EN SURFACE.

— Elle se propose plusieurs buts :

a) Réaliser un renouvellement rapide de l'air et éviter ainsi toute stagnation d'atmosphère viciée par la respiration ;

b) Assurer l'évacuation des dégagements gazeux provenant, en particulier, des accumulateurs et susceptibles de devenir dangereux (ce rôle est peut-être le plus important) ;

c) Rafraîchir l'atmosphère de certains compartiments surchauffés.

Ainsi la ventilation doit remplir certaines conditions :

(1) Par très beau temps tous les panneaux peuvent rester ouverts.

Rester possible, même si tous les panneaux et toutes les portes étanches sont fermés ;

Etre assurée par un minimum d'ouvertures dans la coque épaisse suffisamment protégées contre les embruns.

SCHÉMA GÉNÉRAL DE LA VENTILATION. — La ventilation est réalisée par un refoulement d'air frais ou air pur et par une aspiration de l'air vicié rejeté ensuite au dehors. Un tel circuit est assuré par un système d'appareils qui comprend :

- des manches de ventilation ;
- des ventilateurs ;
- des collecteurs ou tuyaux de distribution.

Manches de ventilation. — Ce sont des prises d'air situées à la partie la plus haute possible du bâtiment, sous le parquet de la baignoire : elles peuvent être obturées par un clapet manœuvrable de l'intérieur et à fermeture rapide. Elles doivent résister à la pression maximum. Des dispositifs ont été créés pour éviter la pénétration de l'eau de mer par gros temps.

La manche tribord est pour l'arrivée d'air frais, la manche babord pour l'évacuation de l'air vicié.

Il est indispensable que ces manches soient isolées l'une de l'autre pour que l'air vicié ne puisse rentrer par la prise d'air frais. Leur extrémité inférieure aboutit dans le compartiment des auxiliaires au groupe des ventilateurs.

Ventilateurs. — Au nombre de quatre les ventilateurs se répartissent ainsi :

deux aspirent l'air frais et le refoulent à l'intérieur du bâtiment ;

deux aspirent l'air vicié et le refoulent à l'extérieur.

Ils sont électriques, du type centrifuge, ont un débit de 2.000 à 5.000 mètres cubes à l'heure et peuvent fonctionner, soit simultanément, soit séparément, soit se servir mutuellement de rechange. On peut même les grouper en série par deux pour obtenir une ventilation modérée et continue et réaliser ainsi une économie de courant.

Sur certains sous-marins de construction récente, des ventilateurs spéciaux ont été installés pour les accumulateurs.

Réseau de ventilation. — Il est constitué par deux collecteurs s'étendant sur toute la longueur du bâtiment : l'un à tribord pour l'air frais, l'autre à babord pour l'air vicié. Chaque collecteur est relié par un branchement aux deux ventilateurs correspondants. Une traverse fait communiquer les deux manches à l'intérieur de la coque ; ainsi l'air peut être brassé en circuit fermé pendant la plongée ; au surplus, cette disposition permet, en cas d'avarie, de rendre les manches interchangeables.

Les collecteurs sont en tôle zinguée de section rectangulaire à angles arrondis. Ils traversent les parois résistantes par des vannes étanches à 10 kilos, les cloisons semi-résistantes par des vannes étanches à 1 kilo.

DISTRIBUTION DE LA VENTILATION. — Les collecteurs desservent directement les postes d'équipages par des ouvertures grillagées avec portes à glissière.

Les canalisations secondaires, branchées sur les collecteurs principaux, aboutissent aux autres compartiments ; leur ouverture peut être obturée par un clapet rabattable.

Dans chaque local, l'air frais arrive par le bas et l'air vicié s'échappe par le haut par application du principe suivant lequel l'air chaud, de moindre densité, s'élève. Cette disposition n'est pas aussi heureuse qu'on pourrait le penser : l'orientation parfois défectueuse des orifices rend, dans certains cas, toute ventilation illusoire ; par ailleurs l'air frais arrivant par en bas ne procure pas l'agrément qu'on en attend. Il est parfois gênant de sentir la fraîcheur dans les jambes, alors qu'il serait beaucoup plus agréable de la recevoir au niveau du visage.

Sur certains sous-marins, où la disposition inverse a été réalisée, on a pu constater que l'air frais s'épanouissant au plafond procurait, par sa descente, un rafraîchissement plus sensible, donc un bien-être appréciable.

Il semble que la solution idéale consisterait dans l'aspiration de l'air vicié en haut et en bas (pour favoriser à la fois l'évacuation des gaz nocifs plus légers que l'air : hydrogène ou vapeurs de gaz oil, et celui du gaz carbonique plus dense) et l'arrivée d'air frais à mi-hauteur en un point diamétralement opposé.

Cette ventilation des locaux fait d'ailleurs l'objet d'études approfondies : on dresse actuellement la carte des courants d'air de chaque compartiment dans le but de déceler les marais aériens et les poches stagnantes et de réaliser l'optimum de ventilation.

VENTILATION DU COMPARTIMENT DES DIESELS. —

Les moteurs Diesel exigent, pour un bon fonctionnement sans fumée, un poids d'air égal pratiquement à 20 ou 30 fois le poids du combustible brûlé (environ 300 m³ à la minute). Un débit aussi important est assuré par deux dispositifs particuliers : les turbo-soufflantes et le panneau du sas.

Les turbo-soufflantes peuvent aspirer 23.000 m³ d'air à l'heure. L'air est puisé dans la baignoire par deux manches spéciales qui le canalisent à l'avant du compartiment des moteurs. Au moment de la prise de plongée, ces manches sont fermées automatiquement par presse à huile. Quant au panneau du sas, il complète l'arrivée d'air. Un très sérieux courant est donc créé au voisinage des moteurs : on s'en rend facilement compte en pénétrant du poste central au compartiment des Diesels. Il est important que les sections d'arrivée d'air soient suffisantes et que le trajet du panneau du sas aux moteurs soit toujours libre faute de quoi une dépression extrêmement pénible pourrait se produire dans le bâtiment.

Le compartiment des moteurs est d'ailleurs desservi par les collecteurs généraux de ventilation. Quelques dérivations du collecteur d'air vicié se trouvent à la partie haute pour l'évacuation des fumées dues au fonctionnement des Diesels.

Dans certains cas, une ventilation énergique du sous-marin peut être provoquée par la mise en marche des Diesels combinée avec la fermeture des panneaux, sauf ceux de l'avant et de l'arrière : il se produit alors un

violent balayage atmosphérique qui, en quelques instants, renouvelle complètement l'air intérieur.

VENTILATION DU COMPARTIMENT DES MOTEURS ÉLECTRIQUES. — Ce compartiment est, nous le rappelons, celui où la température atteint les chiffres les plus élevés. Aussi est-il indispensable d'y réaliser une forte ventilation, tant pour éviter au personnel une fatigue excessive que pour empêcher une détérioration trop rapide du matériel (isolants par exemple).

Cette ventilation est assurée par :

- les collecteurs généraux ;
- les ventilateurs d'induit.

Les collecteurs généraux permettent un renouvellement d'air comparable à celui des autres locaux ; l'arrivée d'air frais est à l'arrière du compartiment, au poste de manœuvres où se tient le personnel qui, nous le répétons, bénéficierait peut-être davantage de la fraîcheur si les orifices étaient placés plus haut, au niveau du visage par exemple (1).

Les ventilateurs d'induit constituent un dispositif propre aux moteurs électriques ; ils créent, à l'intérieur des moteurs fermés, un fort courant d'air qui sort à une température élevée : 50 à 55°. Deux procédés peuvent, dès lors, être adoptés : ou bien refouler cet air dans le compartiment des Diesels, mais la solution n'est efficace

(1) Cette disposition a été réalisée sur des bâtiments de surface et n'a pas toujours donné entière satisfaction. L'expérience montre que le problème est assez complexe car la diffusion d'air frais se fait très mal.

qu'en surface lorsque la ventilation du local est en grande activité, ou bien rafraîchir l'air chaud : c'est ce que réalise l'aéro-réfrigérant à circulation d'eau actionné par groupe moto-pompe.

On a proposé avec juste raison, semble-t-il, d'augmenter, au niveau des électriques, la protection isolante du collecteur d'air frais.

VENTILATION DU COMPARTIMENT DES ACCUMULATEURS

Nécessité. — La ventilation de ce local doit être réalisée avec une précision toute particulière. On a même été jusqu'à penser que l'importance de cette question prime toutes les autres.

Au chapitre des viciations provenant des appareils, nous avons signalé les dégagements gazeux des accumulateurs ; nous y reviendrons quand nous traiterons des accidents à bord des sous-marins qu'une ventilation bien conduite a heureusement rendus de plus en plus rares. Rappelons seulement que les accumulateurs dégagent des produits qui peuvent être toxiques pour les hommes, dangereux pour la sécurité du bâtiment : les vapeurs sulfuriques, et avant tout l'hydrogène qui, mélangé à l'air, est susceptible de provoquer des explosions ou des incendies sont le plus à craindre (1). Car il y a risque à peu près certain d'accident dès que la teneur de l'air en hydrogène atteint 7 % : une flamme ou même une simple étincelle électrique provenant d'un mauvais

(1) Nous nous sommes étendu précédemment sur les dégagements d'hydrogène arsénié et antimoné : l'emploi de métaux soigneusement débarrassés d'impuretés les a fait pratiquement disparaître.

contact suffit à faire détoner le mélange. On admet généralement qu'il n'y a aucun danger quand le pourcentage d'hydrogène est inférieur à 2,5 %, au-delà, les vapeurs de gaz oil ou de mazout peuvent suffire à faire enflammer une quantité d'hydrogène, même inférieure à 7 %.

Principe et réalisation. — Le principe qui régit la ventilation des accumulateurs peut être ainsi formulé : il ne doit y avoir, en aucun point des compartiments, et en aucune circonstance, possibilité de formation de mélange détonant.

Mais comment réaliser pratiquement cette ventilation ?

Tout bâtiment possède une batterie d'accumulateurs divisée en deux groupes : le compartiment du groupe 1 est habituellement au-dessous du poste des maîtres, celui du groupe 2 sous le poste central et les logements des officiers. Ainsi les accumulateurs se trouvent placés à l'étage inférieur du sous-marin un peu à l'avant de la partie moyenne. L'étanchéité des locaux des groupes ainsi que celle de la cloison qui les sépare a été réalisée.

Pendant bien longtemps on s'est demandé s'il n'y aurait pas lieu d'établir un tuyautage d'air vicié spécial aux accumulateurs afin d'éviter tout passage d'hydrogène dans les autres compartiments. Cette solution réalisée sur le *Maurice Callot* avait conduit à un encombrement que ne compensaient pas certains avantages (facilité d'effectuer la mise en route de la ventilation et contrôle des sources d'erreurs) aussi fut-elle abandonnée).

Aux Etats-Unis, comme autrefois en Allemagne et en Italie, on ventile individuellement les éléments mais ils sont d'accès et d'entretien difficiles.

En France, chaque compartiment d'accumulateurs reçoit, à deux extrémités opposées, des dérivations provenant des collecteurs d'air frais et d'air vicié (1).

Le principe est de réaliser une aspiration active de l'air vicié et de déterminer, dans les batteries, une dépression rendant impossible tout passage d'atmosphère suspecte dans les compartiments voisins.

Deux cas sont à envisager :

1^o Ventilation énergique : elle est mise en jeu, pendant la charge (2) et poursuivie pendant les trois heures qui suivent la fin de l'opération, puis réalisée en dehors des charges trois fois par jour pendant une heure. Seule la ventilation de la batterie est alors effectuée à l'exclusion de celle des autres compartiments. Le collecteur d'air vicié n'aspire que dans les compartiments des accumulateurs grâce à la manœuvre des vannes de fermeture de ce collecteur ; on peut même obturer toutes les tapes du collecteur d'air vicié sauf celles des locaux à ventiler. Afin de déterminer une aspiration plus intense, les deux ventilateurs d'air vicié et un seul ventilateur d'air frais sont mis en route et le refoulement d'air frais est réglé de façon à laisser les batteries en dépression ;

2^o Ventilation normale : on ouvre toutes les tapes du

(1) Certains sous-marins modernes possèdent des ventilateurs spéciaux pour les accumulateurs.

(2) On sait qu'alors le dégagement d'hydrogène est maximum.

collecteur d'air vicié et toutes celles du collecteur d'air frais, seules les tapes d'air frais des compartiments des accumulateurs sont fermées. La rentrée d'air se fait par aspiration dans la coursive des logements voisins de la batterie puisqu'il existe des tapes munies de vannes mettant en communication la coursive avec les locaux d'accumulateurs.

Par ces divers dispositifs une dépression est toujours assurée et l'hydrogène ne peut, en surface tout au moins, passer de la batterie dans l'ensemble du bâtiment.

Contrôle de la ventilation des accumulateurs. — Il est de la plus haute importance de pouvoir s'assurer du bon fonctionnement de la ventilation de la batterie : la sécurité du bâtiment en dépend.

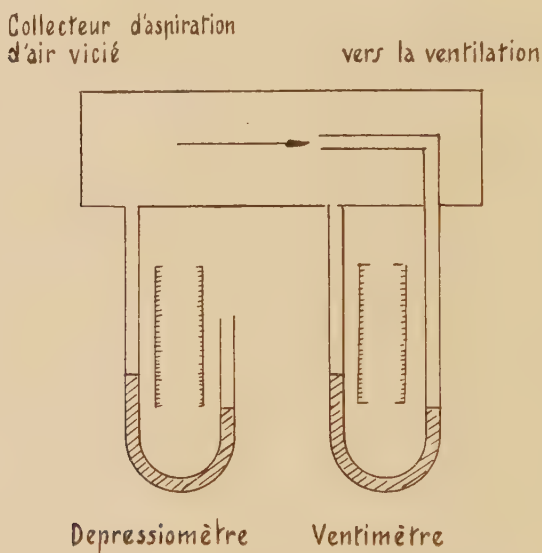
Plusieurs procédés ont été imaginés :

a) On peut grossièrement à la main apprécier le courant d'air devant les tapes de refoulement et les orifices d'aspiration d'air vicié ;

b) Beaucoup plus précis sont les renseignements fournis par les manomètres à eau. Ce sont des tubes en U installés, pour chaque compartiment d'accumulateurs, en dérivation sur la conduite d'air vicié. Un premier manomètre, le dépressiomètre, mesure, comme son nom l'indique, la dépression réalisée dans le local à ventiler ; l'une des branches est en communication avec le compartiment ou avec le tuyautage d'air vicié, l'autre branche avec l'atmosphère générale du sous-marin. Un deuxième manomètre, le ventimètre, apprécie la vitesse du courant d'air dans le collecteur d'aspiration ; ses deux branches sont en communication avec le collecteur, mais

l'une est perpendiculaire et l'autre parallèle au courant. Ces deux appareils doivent se compléter, car les seules indications de l'un d'eux ne peuvent suffire à évaluer l'activité de la ventilation ;

c) Il faut, de plus, vérifier l'efficacité de cette ventilation par des analyses chimiques d'air. On les effectue



au cours de l'armement et périodiquement à la fin d'une charge ou mieux d'une surcharge. Sur les résultats de ces analyses s'établissent les consignes de ventilation ; cette dernière est améliorée si besoin est.

Les analyses sont habituellement effectuées au cours des essais par un pharmacien-chimiste sur des prélèvements dans les parties hautes, les recoins et, en général, dans tous les lieux où l'atmosphère se renouvelle habituellement mal. La teneur de l'air en hydrogène est

mesurée à l'aide de l'appareil VALLERY-ROSELLO qui tend à remplacer l'hydrogénomètre TISSOT. Grâce à son manie-
ment facile, il est utilisé couramment par les gradés qui
peuvent ainsi analyser l'air quand on le juge nécessaire.

Nous donnons ici les dosages d'hydrogène effectués
sur le sous-marin Z... au cours d'une charge mensuelle (1).

Début de la charge : 21 J... à 7 h. 20.

Charge de 500 Ampères jusqu'à 17 heures.

Charge reprise le 22 J... à 7 heures.

Voltage constant le 22 à 10 heures.

Fin de la charge le 22 à 11 h. 15.

Il a été effectué deux séries de prélèvements : l'une
à 10 h. 30, l'autre à 11 heures, en des points symétriques
par rapport à l'axe de la batterie avant (à noter que les
tapes d'aspiration de cette batterie avaient été modifiées
récemment pour améliorer la ventilation).

Les dosages ont été faits au Laboratoire à l'aide du
grisoumètre d'OGIER :

Température de l'atmosphère	{ 1 ^{er} prélèvement	23°5
du compartiment	{ 2 ^e —	23°5
Température moyenne de	{ 1 ^{er} prélèvement	27°
l'électrolyte	{ 2 ^e —	27°

(1) Il s'agit d'analyses effectuées, bien entendu, en surface,
pendant la charge alors que le dégagement d'hydrogène est
maximum ; il est indispensable de l'évacuer à l'extérieur par
le mode de ventilation précédemment décrit. L'analyse ayant
eu pour but de contrôler la ventilation des compartiments
d'accumulateurs, les prélèvements ont été faits uniquement
dans ces compartiments. En plongée tout se passe différem-
ment : l'hydrogène se dégage en quantité bien moindre, mais ne
peut être évacué à l'extérieur ; il importe alors de le doser dans
l'atmosphère générale du sous-marin.

<i>Résultats :</i>	Charge	Surcharge
Babord	2,27 %	1,99 %
—	1,95 %	2,15 %
Tribord	1,75 %	1,79 %
—	2,15 %	1,95 %
Sous le parquet	1,79 %	2,96 %
—	2,60 %	2,52 %

CONSIDÉRATIONS DIVERSES. CONCLUSIONS. — Le mode de ventilation, tel que nous l'avons décrit, réalise un certain nombre de buts visés. Il assure, aussi parfaitement que possible, l'évacuation des gaz nocifs ou dangereux et renouvelle, d'une manière satisfaisante, l'air respirable. Cependant il se révèle insuffisant dans certains compartiments tels la cuisine de plongée et la cambuse qui, mal ventilées, dégagent des odeurs parfois fort désagréables.

Mais cette ventilation est surtout passible d'un gros reproche : elle laisse subsister, en pays chauds, la chaleur et l'humidité, car lorsque l'atmosphère extérieure est surchauffée il ne saurait être question d'arrivée d'air frais mais seulement d'air pur.

Toutes les solutions proposées jusqu'à ces dernières années ont été illusoires et leur résultat à peu près nul. Nous possédons actuellement, dans le conditionnement de l'atmosphère, le remède à cette situation ; son importance justifie un chapitre spécial.

B. — ASSAINISSEMENT DE L'ATMOSPHÈRE EN PLONGÉE

Lorsque, pour se rendre invisible à ses ennemis, le sous-marin entre en plongée, il transforme complète-

ment son mode de vie : la nécessité de conserver une atmosphère respirable l'oblige à modifier sa propulsion (1) et sa ventilation et à réaliser, sous certaines conditions, la régénération de l'air.

Nous allons étudier les transformations que subit la ventilation par la mise en jeu des consignes de plongée ; nous nous étendrons ensuite sur les divers moyens dont dispose le bâtiment pour entretenir l'air nécessaire à la vie à bord pendant une immersion prolongée ; enfin nous exposerons les résultats d'analyses d'air effectuées au cours de plongées de longue durée.

Ventilation

En plongée, le sous-marin, nous l'avons vu, est transformé en local hermétiquement clos. Dès lors, il ne peut plus être question d'aspirer de l'air frais à l'extérieur. La ventilation n'agit plus que pour réaliser un brassage de l'atmosphère, égaliser la température et l'humidité et au besoin diluer l'hydrogène.

Pendant les premières heures de la plongée, les besoins physiologiques du personnel ne nécessitent nullement la mise en œuvre des procédés de régénération ; on se contente de la répartition uniforme de l'air intérieur que réalise la ventilation.

Dès la prise de plongée, les consignes de ventilation entrent en vigueur. Un circuit fermé est obtenu en aveuglant les capots et vannes de coque donnant pas-

(1) La consommation d'air par les moteurs électriques est nulle ; en revanche la vitesse et le rayon d'action sont bien inférieurs à ceux que réalisent les moteurs thermiques.

sage à l'air frais et vicié et en ouvrant le sectionnement de traverse mettant en communication les collecteurs d'air frais et d'air vicié. Enfin le collecteur d'air vicié est disposé de telle façon que l'aspiration s'y fasse à l'aide des ventilateurs à vitesse moyenne (couplage série) et que le refoulement dans le collecteur d'air frais se réalise par le sectionnement de traverse ; les ventilateurs aspirent uniquement dans les compartiments d'accumulateurs afin de réaliser une dilution rapide de l'hydrogène dans le reste du bâtiment et ce jusqu'au moment où la régénération de l'air est commencée.

Comme on le voit, dans ce circuit qui assure le mélange, il n'est plus question d'air frais ni d'air vicié. La ventilation a perdu le rôle si important qu'elle avait pendant la navigation en surface, pour se borner à éviter l'accumulation des produits nocifs et à assurer le passage de l'atmosphère viciée sur les appareils de purification quand la régénération de l'air entre en jeu.

Régénération de l'air

Dès la mise à flot des premiers sous-marins, on s'est préoccupé de débarrasser l'air de ses produits toxiques et de l'enrichir en oxygène nécessaire à la respiration. On sait que la prolongation de la plongée affirme les qualités militaires du sous-marin qui dépendent de la perfection apportée à cette régénération de l'air. Le problème dont nous allons nous occuper est double. Il s'agit en effet :

a) D'empêcher la teneur en acide carbonique de s'élever à un taux dangereux ;

b) De maintenir une proportion d'oxygène indispensable aux dépenses énergétiques du personnel.

Absorption de l'acide carbonique

Rappelons pour clarifier notre exposé que l'air atmosphérique pur contient environ 0,03 % d'acide carbonique, teneur qui s'élève à 4 % dans l'air expiré, et qu'un adulte rejette de 20 à 22 litres d'air par heure.

Les troubles dus au confinement de l'atmosphère sont surtout sous la dépendance du gaz carbonique. On n'ignore pas qu'à faible dose il possède la propriété d'exciter le centre respiratoire du bulbe et que, à doses plus fortes, des troubles apparaissent : légers si l'air en contient de 1 à 1,5 %, ils augmentent au fur et à mesure que la proportion monte ; la mort par asphyxie peut survenir à 4 ou 5 %. Encore faut-il que le séjour dans l'atmosphère carbonique se prolonge : PETTENKOFER a pu, sans inconvénient, rester quelques heures dans la salle de chimie de la Sorbonne où la teneur de l'air en CO_2 était de 1 %.

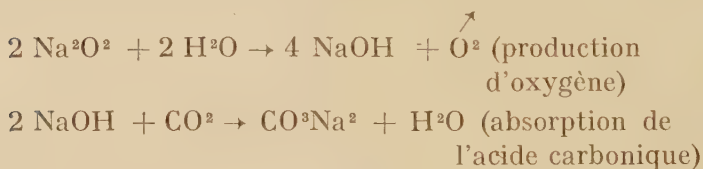
PROCÉDÉS ANCIENS. — La question de la régénération de l'air avait été soulevée dès 1902 mais aucune solution sérieuse n'y avait été apportée, car on n'envisageait pas de maintenir la plongée plus de 8 heures.

En 1908, le problème fut de nouveau examiné alors qu'on entrevoyait, pour des raisons militaires, des immersions de 18 heures.

La détection de l'acide carbonique était rudimentaire : c'est ainsi que la Marine anglaise, nous l'avons

vu, utilisait des souris pour déceler le danger d'intoxication à bord.

Oxylithe. — Les moyens de supprimer CO^2 étaient encore peu perfectionnés et mal codifiés. On se contentait de l'absorber et, simultanément, de produire de l'oxylithe en faisant agir l'eau sur le bioxyde de sodium ou l'oxygène (peroxyde double alcalin) dont la décomposition instantanée donne de l'hydrate de potassium et de sodium avec dégagement d'oxygène :



A l'aide de ventilateurs, l'air était refoulé sur les tablettes ajourées d'une armoire métallique contenant de petits fragments d'oxylithe. L'activité du produit était malheureusement freinée par la formation d'une couche superficielle de carbonate de soude qu'il fallait rompre (plusieurs cas de brûlures et d'incendie par projection d'oxylithe ont été enregistrés).

Un autre inconvénient résidait dans le dégagement de chaleur produit par les réactions chimiques.

Il fallait environ 200 grammes d'oxylithe par homme et par heure.

Une Commission d'Expériences instituée pour l'étude de la régénération de l'air conclut, le 30 juillet 1917 :

- a) au rejet de l'emploi de l'oxylithe pour ses dangers d'inflammabilité ;
- b) à l'emploi du générateur d'oxygène JAUBERT ;

c) à l'adoption du procédé du D^r TISSOT pour l'absorption de l'acide carbonique par la soude granulée ;

d) à l'adoption de l'appareil de dosage de CO² du D^r TISSOT.

Absorption de CO² par la soude (D^r TISSOT). — Un procédé analogue avait été adopté, pendant la Guerre, par les sous-marins allemands comme on a pu s'en rendre compte sur des unités capturées pendant les Opérations ou livrées après l'Armistice. C'est ainsi que l'*U.C.-103*, de 500 tonnes, possédait 2 batteries de boîtes à potasse dans les postes avant et arrière.

La méthode du D^r TISSOT consistait à utiliser, pour l'absorption de l'acide carbonique, les armoires à oxylithe garnies de soude granulée, méthode efficace mais qui conduisait à des manipulations longues ; car, après neutralisation de la soude, il fallait remplacer les tiroirs et les laver dans des bacs spéciaux. Le procédé du D^r TISSOT n'en est pas moins resté réglementaire jusqu'aux sous-marins du « Programme Naval ».

PROCÉDÉS ACTUELS. — Toutes les Marines ont adopté le procédé d'absorption de CO² par des boîtes branchées sur le collecteur d'air vicié contenant un granulé basique.

La Marine américaine utilise l'appareil du Professeur GIBBS, à base de chaux sodée en grains durs de WILSON (96 % de chaux, 4 % de soude). Grâce à lui, un sous-marin de l'U.S. Navy a pu réaliser une plongée de 4 jours sans que la teneur en acide carbonique se soit élevée à un chiffre dangereux.

L'Italie emploie un composé qui jouit de la double propriété d'absorber CO² et de fixer l'eau. C'est un

granulé dont voici la composition établie par MARANTONIO :

Hydrate de potassium	19,3 %
Hydrate de sodium.....	66,21 %
Acide sulfurique	1,30 %
Acide chlorhydrique	0,66 %
Eau	12,53 %

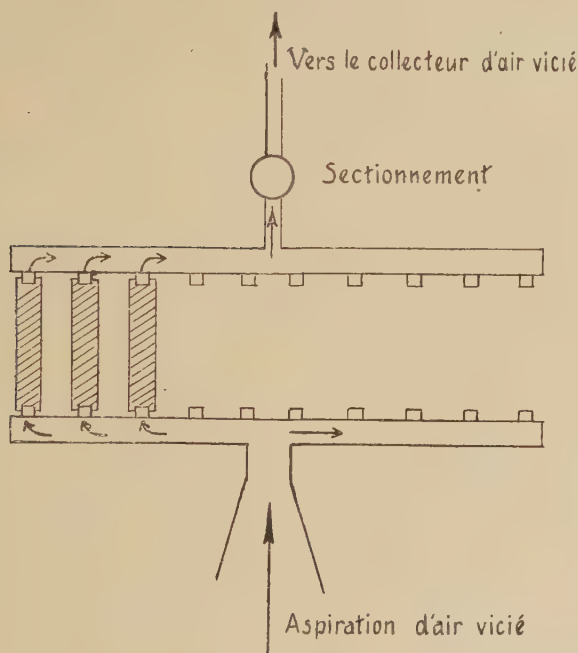
Les sous-marins allemands adoptent des boîtes à potasse disposées en batteries de quatre ou cinq. Le corps absorbant est enfermé dans des cartouches interchangeables, ce qui évite la manipulation du caustique et, par suite, l'usage de lunettes et de gants spéciaux.

Boîtes et clarinettes à soude. — En France, tous les sous-marins du Programme Naval sont dotés de boîtes à soude en tôle de fer blanc de 8 à 10/10 d'épaisseur soudées à l'étain. Ces boîtes de 68×250×290 mm. peuvent contenir 2 kg. 500 de produit. On emploie la soude caustique granulée, à l'exclusion de la chaux et de la potasse, moins encombrante et plus facile à obtenir au degré de pureté désirable. Chaque boîte renferme 18 paniers en toile métallique garnis de deux couches de soude séparées par un papier pour que la plus grande surface possible soit au contact de l'air ; ces paniers sont disposés en chicanes. Les boîtes présentent, sur leurs surfaces supérieure et inférieure, 2 orifices de 40 mm. fermés par des capsules plombées que l'on enlève immédiatement avant usage. Elles sont placées sur une sorte de râtelier constitué par deux rampes creuses portant chacune des tubulures avec raccord muni de ressort à

levier où viennent s'adapter les orifices des boîtes : c'est la clarinette.

L'air vicié pénètre par la rampe inférieure, se débarrasse de son acide carbonique en traversant, de bas en

CLARINETTE POUR BOITE A SOUDE



haut, les boîtes à soude et s'échappe par la rampe supérieure dans le collecteur d'air vicié.

Il y a deux clarinettes de chacune 5 boîtes dans chaque poste extrême du bâtiment, soit 20 boîtes par sous-marin de 1.500 tonnes; les « 600 tonnes » n'ont que 16 boîtes.

Au poste arrière, les clarinettes sont le plus souvent

installées : l'une à côté du lavabo, l'autre au-dessous ; elles reçoivent fréquemment des projections d'eau et sont ainsi exposées à une détérioration rapide. Cette mauvaise disposition a été modifiée sur les sous-marins récents ; pour diverses raisons les boîtes sont toutes placées sur le collecteur transversal central.

La réaction chimique échauffant le métal des boîtes, on peut, au toucher, se rendre compte de leur efficacité.

Utilisation des boîtes à soude. Rendement. — Nous avons vu qu'on évalue approximativement le cubage utile aux $\frac{2}{3}$ du tonnage du sous-marin.

Sachant qu'un adulte émet 20 litres d'acide carbonique à l'heure et que la teneur de sécurité de l'air en CO^2 est fixée à 1,5 %, la formule suivante permet de déterminer le temps au bout duquel il faudra mettre les boîtes à soude en action :

$$\frac{1,5}{100} = \frac{0,020 \times N \times Xh}{\frac{2}{3} P} \quad \text{d'où} \quad Xh = \frac{1,5 \times \frac{2}{3} P}{2 N} = \frac{P}{2 N}$$

N représentant l'effectif du bâtiment, P son tonnage, le calcul donne :

Pour un sous-marin de 1500 tonnes avec 65 hommes :

11 heures 30 environ.

Pour un sous-marin de 600 tonnes avec 40 hommes :

7 heures 30 environ.

Si l'on applique la formule de réaction :



on note que 80 grammes de soude absorbent 22 litres 4

de CO^2 , soit sensiblement la quantité émise par un homme pendant une heure. Or, il est admis que l'absorption de CO^2 cesse quand 50 à 55 % de la soude ont été transformés en carbonate. C'est donc sur un peu plus de 140 grammes de soude qu'il y a lieu de compter pour absorber l'acide carbonique que rejette l'adulte pendant une heure. Il est dès lors facile d'évaluer la quantité de soude, exprimée en grammes, nécessaire pour maintenir la teneur de CO^2 à 1,5 % pendant une plongée de T heures ; la formule :

$$140 \text{ N (T- Xh)}$$

en donne le moyen.

Le rendement de 50 à 55 % apparaît, somme toute, assez faible et l'on s'est demandé s'il ne pourrait pas être amélioré, compte tenu : de la vitesse du courant d'air, de la dépression de part et d'autre des clarinettes, du degré hygrométrique, du taux de CO^2 , etc...

Des études expérimentales ont été entreprises par le pharmacien-chimiste M. L. JEAN. Nous allons rapidement en exposer la technique et les conclusions (1).

On a utilisé le compartiment arrière extrême d'un sous-marin, isolé et rendu étanche. Le système d'absorption adopté comprenait une clarinette de dix boîtes à soude. Un tube de CO^2 liquéfié muni d'un détendeur libérait, dans ce local clos de volume connu, une quantité déterminée de gaz carbonique, l'homogénéité de l'atmosphère étant assurée par des ventilateurs portatifs. On a pu réaliser ainsi des conditions d'expérience rigou-

(1) La régénération des atmosphères confinées au moyen de la soude (*Archives de Médecine Navale*, Janvier-Février-Mars 1938, page 84).

reuses. Une fois la régénération mise en jeu, il était facile d'analyser l'air.

Le taux d'enrichissement horaire en gaz carbonique étant fixe, on pouvait étudier les variations du taux de CO^2 dans l'atmosphère en fonction de divers paramètres : taux initial de CO^2 avant la régénération, vitesse du courant d'air mesurée par un anémomètre RICHARD, dépression entre l'entrée et la sortie des boîtes à soude.

Il est apparu, au cours de ces expériences, que la dépression et la vitesse du courant d'air ne sont pas liées l'une à l'autre par une relation simple.

Des nombreuses analyses effectuées, on a pu déduire les lois d'action des boîtes à soude (M. L. JEAN).

Lois d'action des boîtes à soude.

1° « La quantité totale de CO^2 que peut fixer une
« boîte à soude, avant sa saturation pratique, est inver-
« sement proportionnelle à la vitesse de l'air. Le temps
« d'action utile (avant saturation pratique) est de même
« inversement proportionnel à cette vitesse de l'air ».

2° « La quantité de CO^2 fixée par heure est propor-
« tionnelle à la vitesse de l'air, mais pendant les pre-
« mières heures du fonctionnement seulement. Le taux
« horaire de CO^2 fixé est, toutes choses égales d'ailleurs,
« inversement proportionnel au temps pendant lequel
« la boîte a fonctionné ».

3° « Le rendement des boîtes est inversement propor-
« tionnel à la vitesse du courant d'air qui les traverse,
« c'est-à-dire à la vitesse d'admission de CO^2 dans les
« boîtes ».

4° « La dépression entre l'entrée et la sortie des boîtes
« augmente avec le temps. Une boîte pratiquement usée
« donne un accroissement de dépression de 6 centimètres
« environ entre le début et la fin de sa période de fonc-
« tionnement utile ».

5° « Il en résulte que, pratiquement :

« a) pour une vitesse de 600 mètres-minute, une
« boîte peut absorber en moyenne 300 litres de CO^2 en
« 5 heures : rendement 45 % environ ».

« b) pour une vitesse de 300 à 500 mètres-minute,
« une boîte fixe en moyenne 350 litres de CO^2 en 6 à
« 7 heures : rendement 50 à 53 % » ;

« c) pour une vitesse de 100 mètres-minute, chaque
« boîte fixe 400 litres environ en 8 heures : rendement
« 60 à 65 % ».

Ainsi, seule la vitesse du courant d'air tient sous sa dépendance le régime économique d'une boîte à soude. Un rendement supérieur à 50 % ne peut être obtenu qu'à la condition de limiter la vitesse du courant d'air à un chiffre compris entre 100 et 400 mètres-minute. Une boîte peut alors absorber 50 litres de CO^2 par heure.

Conclusions. — Pratiquement, les conclusions suivantes s'imposent :

1° Le débit d'air optimum que l'on doit réaliser dans les boîtes à soude est de 0 m³ 100 à 0 m³ 150 par boîte et par minute ;

2° Les notices officielles indiquent le pourcentage en CO^2 à partir duquel la régénération doit être commencée : 0,9 à 1,3 %. En fait, on peut mettre les boîtes en action

avant que ces chiffres soient atteints ; elles se colmatent, semble-t-il, moins vite ;

3° Il est nécessaire de prévoir à bord deux boîtes pour cinq hommes, quel que soit le volume intérieur ;

4° Enfin, il est indiqué d'effectuer de temps à autre des dosages d'acide carbonique dans l'air ; on dispose, nous le rappelons, de plusieurs appareils dont le plus employé est l'appareil VALLERY-ROSELLO.

Régénération de l'oxygène

L'air contient normalement 21 % d'oxygène ; cette proportion peut s'abaisser jusqu'à 17 % sans qu'il en résulte de troubles appréciables, mais, au-dessous, l'anoxémie apparaît et l'asphyxie survient lorsqu'il n'y a plus que 13 % d'oxygène dans l'atmosphère.

Pour HALDANE, un sous-marin contiendrait une quantité d'oxygène suffisante pour maintenir sa plongée pendant 24 à 36 heures.

Durant la Guerre, certains bâtiments anglais de la classe H, qui n'avaient aucun moyen de régénérer leur atmosphère, ont pu effectuer des plongées de 20 heures sans inconvénients. Mais, rapidement, on a songé à doter le sous-marin de moyens propres à remplacer l'oxygène consommé par la respiration.

PROCÉDÉS ANCIENS. — Nous avons expliqué comment, pendant la Guerre, on utilisait l'oxylithe à la fois comme absorbant d'acide carbonique et régénérateur d'oxygène : 500 grammes d'oxylithe dégageaient 65 litres 89 d'oxygène en une demi-heure (BELLI et OLIVI).

Lorsqu'en 1917 l'emploi des armoires à oxylithe fut interdit, on imagina une sorte de gazogène dans lequel un filet d'eau réglé à volonté tombait sur l'oxylithe. Ce procédé évitait les manipulations dangereuses et permettait l'utilisation des stocks alors en magasin. On adopta par la suite le régénérateur d'oxygène JAUBERT qui ne donna pas satisfaction.

Certains sous-marins anglais, japonais et allemands ont fait emploi de l'ozone obtenu électriquement. On sait que ce gaz possède des propriétés antimicrobiennes et peut être utilisé comme désinfectant énergique ; malheureusement, c'est un irritant des voies respiratoires supérieures qui détermine du coryza et de la toux et peut même présenter un danger de mort par atteinte du centre respiratoire bulbaire s'il est en forte proportion, aussi son utilisation semble-t-elle abandonnée.

Au cours de la Grande Guerre, certains sous-marins allemands possédaient des bouteilles d'oxygène : l'*U.C.-103* en avait 7 de 50 litres à 160 kilogs. En fin de compte, c'est la bouteille d'oxygène qui a donné les meilleurs résultats, et qui est, aujourd'hui, universellement répandue.

PROCÉDÉS ACTUELS. — On utilise aujourd'hui des bouteilles d'oxygène de 50 litres à 150 atmosphères. Ces bouteilles munies de détendeur sont réparties, sur les sous-marins de 1500 tonnes, en 2 groupes de 3 unités, un sous le parquet de chacun des postes extrêmes.

Le chargement se fait de l'extérieur par une prise ménagée sur le pont-passerelle et aboutissant à un sectionnement intérieur. Les bouteilles d'un même groupe

sont branchées sur un tuyautage de distribution commun auquel sont annexés une soupape pour le remplissage éventuel des bouteilles des appareils de scaphandre et un compteur pour le réglage du débit.

Autrefois, le débit était évalué empiriquement ; aujourd'hui, le compteur permet de ne laisser passer que la quantité de gaz proportionnée au volume d'air à régénérer et à l'effectif : un manomètre gradué suivant le nombre d'hommes à bord a été installé à cet effet, le débit est alors fonction de la pression. Pratiquement, l'appareil est réglé pour 26 l. 4 d'oxygène par homme et par heure.

A sa sortie du détendeur, l'oxygène se dégage dans un globe à eau à travers une peau de chamois et se rend, par une tubulure spéciale, soit directement dans le compartiment, soit dans le collecteur d'aspiration d'air vicié.

Un tuyautage permet, en cas d'incendie, de purger les bouteilles à l'extérieur.

Afin d'éviter les explosions, on a renoncé à utiliser l'oxygène liquéfié. Dans ce même ordre d'idée, l'usage des corps gras est proscrit pour les raccords et robinets de réservoirs.

Une épreuve des bouteilles à l'eau alcaline à 225 kilogs est effectuée tous les 2 ans.

La quantité d'oxygène embarquée, soit 300 litres sur un sous-marin de 1500 tonnes, est suffisante pour 6 plongées de 18 heures ou une seule plongée de 48 heures.

En cas de nécessité, l'air comprimé peut être utilisé pour augmenter la quantité d'oxygène, mais cet air a l'inconvénient d'accuser une forte odeur d'huile. Il y a

lieu toutefois de mettre les compresseurs en marche si l'on veut maintenir la pression atmosphérique.

Utilisation de l'oxygène. — Rappelons qu'un adulte consomme, en une heure, environ 26 litres d'oxygène, que l'air en contient 21 %, qu'il est dangereux de laisser tomber cette teneur au-dessous de 17 %, limite atteinte lorsqu'une allumette suédoise ne peut plus être enflammée.

En désignant par :

X' le nombre d'heures pendant lesquelles un homme peut vivre sans apport d'oxygène, soit le temps nécessaire à faire tomber de 4 unités le pourcentage de ce gaz ;

P le tonnage du bâtiment ;

N son effectif ;

on peut poser l'équation :

$$\frac{4}{100} = \frac{0,026 \times N \times X'}{\frac{2}{3} P} \text{ d'où } X' = \frac{\frac{8}{3} P}{2,6 N} \text{ ou approx. } \frac{P}{N}$$

Si l'on rapproche ce résultat de celui obtenu par la formule d'absorption de CO_2 , on s'aperçoit que l'apport d'oxygène n'est justifié qu'après un temps environ 2 fois plus long que celui nécessité pour la mise en action des boîtes à soude.

L'emploi de l'oxygène est donc assez rare, tout au moins en temps de paix.

Mise en jeu des procédés de régénération

Il ressort de ce qui précède que la régénération de l'air doit obéir au principe suivant :

Il faut faire fonctionner les boîtes à soude dès que l'acide carbonique atteint 1,5 % et détendre l'oxygène dès qu'il tombe au voisinage de 17 %.

Mais les formules qui précèdent conduisent à des temps supérieurs à ceux qui découlent de l'expérience. En pratique, ce sont les analyses d'air qui commandent la régénération, les considérations suivantes en donnent l'explication :

a) l'atmosphère du sous-marin n'est pas homogène et le volume d'air utilisé par la respiration est bien inférieur au volume intérieur total, d'où nécessité d'effectuer un brassage aussi violent que possible ;

b) la formule $\frac{2 P}{3}$ qui détermine le cubage atmosphérique du bâtiment est très approximative ;

c) les équations posées supposent, à la prise de plongée, un air intérieur parfaitement pur ; or les conditions militaires peuvent créer une situation bien différente : marche en tenue de veille avec la batterie en charge ou même en surcharge, ventilation panneaux fermés, aspiration d'air vicié dans les compartiments des accumulateurs seuls, etc...

d) la production de CO_2 peut monter au-delà de 22 litres quand l'effectif est appelé à fournir un effort considérable et prolongé ; même remarque pour la consommation d'oxygène.

Seule l'expérience peut donc permettre une utilisation judicieuse des formules énoncées, formules qu'elle adapte à chaque bâtiment au cours de ses essais, en particulier à l'occasion des plongées de longue durée. Au reste, les résultats que fournissent les nombreuses analyses d'air

font l'objet d'un procès-verbal spécial sur lequel sont établies les consignes de régénération propres à chaque sous-marin.

LES TROIS PHASES DE LA PLONGÉE. — Toute plongée de longue durée comporte trois phases :

La première phase qui va de la prise de plongée au moment à partir duquel il faut absorber CO_2 . Pendant cette période, qui dure environ onze heures pour les bâtiments de 1500 tonnes, un simple brassage de l'air suffit (aspiration d'air vicié aux accumulateurs seulement), brassage qui a pour but, nous le répétons, d'améliorer l'habitabilité, de répartir la chaleur et l'humidité et de diluer les produits nocifs. Le tuyautage transversal qui relie les deux collecteurs est ouvert.

La deuxième phase qui prend fin au dégagement d'oxygène. Toutes les tapes d'air vicié sont fermées, sauf celles des clarinettes à soude : l'air chargé de CO_2 doit donc traverser les boîtes pour s'y purifier. Toutes les tapes d'air frais sont ouvertes, sauf celles situées au voisinage des clarinettes afin d'éviter à l'air frais de passer directement dans le collecteur d'air vicié sans avoir au préalable circulé dans le bord. Deux ventilateurs (air frais et air vicié) sont mis en parallèle. Grâce à la disposition générale de la ventilation en plongée, circule un double courant d'air frais allant du centre aux extrémités du bâtiment où sont les boîtes à soude.

La troisième phase qui est celle du dégagement d'oxygène. Elle n'a de raison d'être que pendant les longues plongées, rares en temps de paix.

BASES DE L'APPROVISIONNEMENT. — L'approvisionnement en boîtes à soude et en bouteilles d'oxygène est naturellement fonction du nombre de plongées de longue durée prévues. Les équations suivantes permettent de déterminer les quantités à embarquer.

Pour les boîtes à soude :

$$n = \frac{140}{2500} \times (H - X) \times N \times p$$

p = nombre de plongées

H = nombre d'heures de plongée

X = nombre d'heures pendant lesquelles aucune absorption de CO^2 ne se fera

N = effectif du bâtiment.

A noter que chaque boîte contient 2 kg. 500 de soude et qu'il en faut 140 grammes pour neutraliser le CO^2 dégagé par un adulte en une heure.

Pour l'oxygène à la pression atmosphérique :

$$V^{m^3} = 0,026 \times (H - X') \times N \times p$$

étant admis qu'un homme absorbe 26 litres d'oxygène à l'heure

X' = nombre d'heures pendant lesquelles le dégagement d'oxygène est inutile

H = nombre d'heures de plongée

N = effectif du bâtiment

p = nombre de plongées.

C'est par application de ces formules qu'un sous-marin de 1500 tonnes embarque :

130 boîtes à soude,

6 bouteilles de 50 litres d'oxygène à 150 atmosphères,

Quantités suffisantes pour 6 plongées de 18 heures ou une plongée de 48 heures.

Résultats obtenus au cours de plongées de longue durée

1° Plongée de 18 heures effectuée par le sous-marin Z..., les 23 et 24 J...

Cette plongée a été tenue du 23 J... à 17^h. 35 au 24 J... à 11 h. 35. Avant la plongée, le sous-marin naviguait en ventilant panneaux fermés, exception faite de ceux du sas et de la passerelle ; l'effectif était de 52 hommes.

On s'est efforcé de conserver une atmosphère se rapprochant le plus possible de la normale et permettant de s'assurer du bon fonctionnement des boîtes à soude et des groupes débiteurs d'oxygène.

Pour les analyses d'air, on a utilisé :

à bord :

oxygène : le petit appareil d'ORSAT à absorption par pyrogallate de potasse ;

gaz carbonique : l'appareil portatif CHAIGNON ;

au laboratoire :

hydrogène : le grisoumètre d'OGIER ;

oxygène et gaz carbonique : l'eudiomètre de PLANTEFOL.

Nous donnerons seulement les résultats plus précis et plus exacts fournis par ce dernier appareil.

La ventilation de la batterie ayant été effectuée en surface, les boîtes à soude ont été mises en service à 18 h. 30, soit une heure après la prise de plongée. Deux ventilateurs à air vicié indépendants aspirant uniquement aux boîtes à soude et un ventilateur à air frais refoulant dans tout le bord, non compris les compartiments d'accumulateurs, ont été mis en action. Ces compartiments ont été isolés et mis en circuit pendant seulement 10 minutes toutes les heures, de façon à utiliser leur atmosphère et à empêcher l'hydrogène de s'y accumuler.

A 21 heures, les hommes ayant été également répartis à l'avant et à l'arrière, les bouteilles d'oxygène ont été ouvertes.

Etude chimique.

De la somme ($\text{CO}^2 + \text{O}$) dosée au pyrogallate de potasse avec l'appareil d'ORSAT, on a retranché le CO^2 dosé au même point et au même moment à l'aide de l'appareil CHAICNON (Dosage de l'oxygène).

Les résultats fournis par l'eudiomètre de PLANTEFOL ont été les suivants :

Oxygène :

a) Dans l'atmosphère du Poste central :

23 J...	Début de la plongée.....	20,8 %
—	21 heures	20,35 %
—	24 heures	20,35 %
24 J...	3 heures	20,30 %
—	6 heures	20,30 %
—	9 heures	20,10 %
—	11 h. 30.....	20 %

b) Dans l'atmosphère du compartiment des accumulateurs, en fin de plongée :

Groupe avant..... 20 %
Groupe arrière 19,9 %

Gaz carbonique :

Dosages effectués à bord avec l'appareil CHAIGNON :

Heures de prélèvements	Poste avant	Carré	Poste arrière	Observations
17 h. 30	0,15 %	0,05 %	0,20 %	A 18 h. 30, 10 boîtes à soude ont été mises à l'avant et 10 à l'arrière.
20 h.		0,20 %		
20 h. 20				
20 h. 40	0,25 %	0,25 %	0,45 %	A 2 h. 30, 4 boîtes ont été changées à l'avant, 6 à l'arrière.
0 h. 15				
0 h. 20				
0 h. 30	0,40 %	0,50 %	0,60 %	A 4 h. 30, 4 boîtes ont été changées à l'avant, 1 à l'arrière.
5 h. 15				
6 h. 10				
6 h. 30	0,40 %	0,60 %	0,65 %	A 6 h. 30, 2 boîtes ont été changées à l'avant, 3 à l'arrière.
7 h. 30				
7 h. 40				
7 h. 45	0,80 %	0,75 %	0,75 %	
9 h.				
9 h. 15				
9 h. 30				
11 h. 05				
11 h. 15				
11 h. 30				

Dosages effectués au laboratoire avec l'eudiomètre de PLANTEFOL :

Heures de prélèvements	Poste central
Début de la plongée	0,10 %
21 heures	0,25 %
24 heures	0,25 %
3 heures	0,35 %
6 heures	0,45 %
9 heures	0,50 %
Fin de plongée :	
11 h. 30.	0,55 %
Groupe avant	0,65 %
Groupe arrière	0,50 %

Les dépressions indiquées par les manomètres placés près des clarinettes à soude étaient :

Aspiration uniquement { Avant : 68 mm. d'eau
au niveau des boîtes { Arrière : 71 mm. d'eau

Aspiration aux boîtes { Avant : 20 mm. d'eau
et aux accumulateurs { Arrière : 28 mm. d'eau

Hydrogène :

Les dosages ont été faits au laboratoire à l'aide du grisoumètre d'OGIER sur des échantillons prélevés au Poste central et à la batterie au cours de la plongée.

Heures de prélèvements	Poste central
Début de la plongée	0 %
21 heures	traces
24 heures	traces
3 heures	0,6 %
6 heures	1,6 %
9 heures	3,25 %
Fin de plongée :	
Groupe avant	3,65 %
Groupe arrière	4,68 %

2° Plongée de 8 heures effectuée par le sous-marin Y...

Il s'agissait d'un essai de charge rapide du temps de guerre suivi de plongée avec régénération d'air.

Effectif à bord : 54 hommes.

Charge de la batterie commencée le 22 ..., à 23 heures, achevée le 23, à 8 h. 45.

Ampères récupérées : 5.150.

Pendant toute la durée de l'essai les ventilateurs étaient indépendants.

a) *Pendant la charge :*

Ventilateurs d'air vicié : aspirant aux accumulateurs.

Ventilateurs d'air frais : indépendants, refoulant dans le bord sauf à la batterie.

Arrivée naturelle d'air frais à la batterie ouverte :

Dépressiomètre	{ Groupe avant	1,5
	{ Groupe arrière	2,5
Ventimètre	{ Groupe avant	10,5
	{ Groupe arrière	3,5

b) *Pendant les deux premières heures de plongée :*

Ventilateurs d'air vicié : comme pendant la charge.

Ventilateurs d'air frais : indépendants, traverse ouverte entre les ventilateurs.

Les tapes du collecteur d'air frais, situées à moins d'un mètre d'une source normale d'étincelles, étaient fermées :

Dépressiomètre	{ Groupe avant	1
	{ Groupe arrière	1
Ventimètre	{ Groupe avant	4,5
	{ Groupe arrière	1,5

c) *Pendant la régénération :*

Aspiration d'air vicié aux seules boîtes à soude.

Refoulement d'air frais par la traverse du cylindre central et aux compartiments des accumulateurs.

Fermeture des panneaux à 9 heures, régénération de l'air à 11 heures, fin de l'essai à 17 heures.

Gaz carbonique.

Les boîtes à soude ont été mises en fonctionnement à 11 heures, soit 2 heures après le début de la plongée. Elles ont été secouées et retournées 4 heures après. Les dosages ont été faits, à bord, à l'aide du carbonimètre VALLERY-ROSELLO :

Lieux de prélèvements	Heures de prélèvements			
	11 h.	13 h.	15 h.	17 h.
Poste avant	0,45 %	0,45 %	0,70 %	0,75 %
Poste des maîtres.....	0,40 %	0,50 %	0,75 %	0,75 %
Carré	0,40 %			
Poste central	0,40 %	0,40 %	0,80 %	0,80 %
Diesels	0,40 %	0,50 %	0,80 %	1,00 %
Electriques	0,50 %	1,00 %	0,85 %	
Poste arrière	0,50 %	0,95 %	1,05 %	1,00 %

Hydrogène.

Les dosages ont été effectués, à bord, avec l'hydrogénomètre VALLERY-ROSELLO.

Lieux de prélèvements	Heures de prélèvements				
	8 h. 45	11 h.	13 h.	15 h.	17 h.
Poste avant		0,10 %	0,35 %	0,35 %	0,45 %
Poste des maîtres		0,10 %	0,40 %	0,40 %	0,40 %
Carré.....		0,20 %			
Poste central		0,20 %	0,30 %	0,32 %	0,38 %
Diesels		0,20 %	0,30 %	0,45 %	0,50 %
Electriques		0,20 %	0,30 %	0,35 %	
Poste arrière		0,20 %	0,30 %	0,40 %	0,40 %
Groupe avant 149	1,30 %	0,25 %	0,50 %	0,40 %	0,50 %
— 30	1,20 %	0,25 %	0,40 %	0,45 %	0,48 %
— 122		0,25 %	0,40 %	0,45 %	0,45 %
Sous-parquet 56			0,45 %	0,45 %	0,50 %
— 74	1,50 %	0,30 %	0,40 %	0,40 %	0,45 %
Groupe arrière 32		0,30 %	0,45 %	0,48 %	0,50 %
— 125		0,30 %	0,40 %	0,48 %	0,45 %
— 105		0,30 %	0,45 %	0,50 %	0,50 %
Sous-parquet 103		0,30 %	0,45 %	0,48 %	0,50 %

4^o AIR CONDITIONNÉ

Quelle que soit l'efficacité de la ventilation, l'habitabilité d'un sous-marin est essentiellement fonction de la température et du degré hygrométrique de son atmosphère. Ce sont ces deux facteurs qui conditionnent les sensations de malaise ou, au contraire, de bien-être qu'on peut éprouver en pays chaud.

Dans un climat tropical, en effet, l'ambiance du bord met durement à l'épreuve la résistance et la santé du personnel ; il ne suffit pas de fournir un air pur aux poumons, il faut permettre aux organismes d'affronter les efforts et les fatigues qu'entraîne un travail soutenu à bord d'un navire de guerre en atmosphère confinée.

BASES PHYSIOLOGIQUES. — La température du corps humain doit demeurer constante. Pour réaliser cet équilibre homéotherme, l'organisme lutte, suivant les circonstances, contre les conditions atmosphériques. Cette adaptation au milieu se fait par les diverses fonctions de régulation de la chaleur animale : radiation, vasodilatation, sudation, dépenses énergétiques.

Plusieurs facteurs extérieurs peuvent influencer l'équilibre homéotherme du corps ; ce sont, à bord d'un sous-marin :

- 1^o la température intérieure ;
- 2^o l'état hygrométrique ;
- 3^o l'état d'agitation de l'air, caractérisé par sa vitesse ;
- 4^o la température et la nature de la coque.

Diverses combinaisons de ces facteurs peuvent créer des « états atmosphériques équivalents ». Leur étude a été entreprise depuis une vingtaine d'années et a donné lieu à des expériences méthodiques et répétées. L'American Society of Heating and Ventilating Engineers (A.S.H.V.E.) s'est particulièrement intéressée à ce problème.

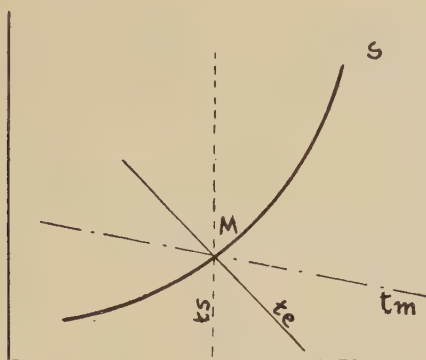
On considère comme équivalentes des atmosphères dans lesquelles une majorité d'individus ne ressent aucune modification à la sensation de chaleur en passant de l'une dans l'autre. Les différentes fonctions organiques étant reconnues constantes, donc l'équilibre homéotherme respecté, on a pu tracer sur un diagramme dit psychrométrique, des courbes d'égal confort (1).

REPRÉSENTATION GRAPHIQUE. — Portons en abscisses les températures du thermomètre sec, en ordonnées les poids de vapeur d'eau par mètre cube exprimés en grammes. Le diagramme psychrométrique se compose alors des courbes de saturation totale et de saturation partielle, les droites t_s lieux d'égales indications du thermomètre sec et celles t_m lieux d'égales indications du thermomètre mouillé se coupent sur la courbe de saturation. On peut tracer, sur ce diagramme, une ligne d'égal confort. Pour cela, il suffit d'y porter les points représentatifs d'atmosphères équivalentes, toutes au repos. On s'aperçoit que cette ligne intermédiaire entre les droites t_s et t_m coupe la courbe de saturation S en

(1) Lieutenant de Vaisseau L. BLAISON. L'amélioration scientifique de l'habitabilité des sous-marins, l'air conditionné. Revue Maritime, Janvier 1936, page 5.

M : c'est précisément en ce point que t_s et t_m se coupent elles aussi. Cette valeur commune t_e est appelée température effective : elle caractérise la ligne d'égal confort.

En somme, cette température effective peut se définir ainsi : c'est « l'égale lecture thermométrique sur le thermomètre sec et le thermomètre mouillé, dans l'atmosphère équivalente saturée et au repos » (L. BLAISON).



On peut tenir compte, dans ces diagrammes, non seulement de la température et du degré d'humidité, mais encore de la vitesse V de l'air et de la température moyenne T_p des parois ; un diagramme plus précis peut alors être établi. La température T_r résultante, caractéristique d'une impression de chaleur bien définie, est fonction de quatre paramètres variables :

$$T_r = f(t_s, t_m, T_p, V)$$

Nous avons exposé ces considérations quelque peu abstraites pour montrer comment on peut définir l'ambiance atmosphérique d'un sous-marin, la chiffrer et la représenter sur un diagramme par la ligne de tempéra-

ture effective ou d'une manière plus précise par celle de la température résultante.

L'amélioration des conditions de vie liées à cette ambiance va donc consister, le diagramme sous les yeux, à modifier les paramètres variables pour aboutir, en fin de compte, à une température résultante caractéristique d'un certain confort.

NÉCESSITÉ D'UNE AMBIANCE CONFORTABLE. — La température effective du confort maximum, telle que nous l'avons définie, varie suivant les saisons et les climats. L'expérience montre que les conditions de bien-être optimum sont réalisées de la manière suivante en ne tenant compte que de la température et de l'humidité atmosphérique :

Etat hygrométrique	Température
35 à 50 %.....	20°
50 à 70 %.....	30°

Malheureusement, de telles conditions sont rares à bord des sous-marins, en dehors des eaux tempérées de la Manche et de l'Atlantique. Déjà en Méditerranée, l'atmosphère est pénible ; à plus forte raison, dans les zones tropicales et équatoriales, le séjour est-il préjudiciable, non seulement au bien-être de l'effectif, mais encore à sa santé et, partant, à l'utilisation stratégique du bâtiment. Tous les rapports de fin de croisière en pays chauds ont insisté sur ce fait en montrant que la limite de résistance des hommes était très vite atteinte. Aussi a-t-on réalisé, sur certains sous-marins dits coloniaux, le refroidissement et surtout l'assèchement de

l'atmosphère pour ramener l'ambiance dans la zone du confort. Ainsi la Marine peut diriger ces bâtiments sur n'importe quelle mer du globe.

DESCRIPTION DE L'INSTALLATION. — Les moyens spécialement étudiés pour améliorer les conditions atmosphériques ont reçu l'appellation de « conditionnement de l'air ».

Avant leur utilisation à bord des sous-marins, ils avaient fait l'objet d'applications nombreuses, soit dans les industries textiles et alimentaires, soit dans les salles de spectacles et les locaux réfrigérés des paquebots (*Normandie*, par exemple).

L'installation doit fonctionner en surface et en plongée et répondre au service nécessitant le maximum de puissance frigorifique, c'est-à-dire à la marche en surface avec renouvellement continu de l'air en supposant les conditions suivantes :

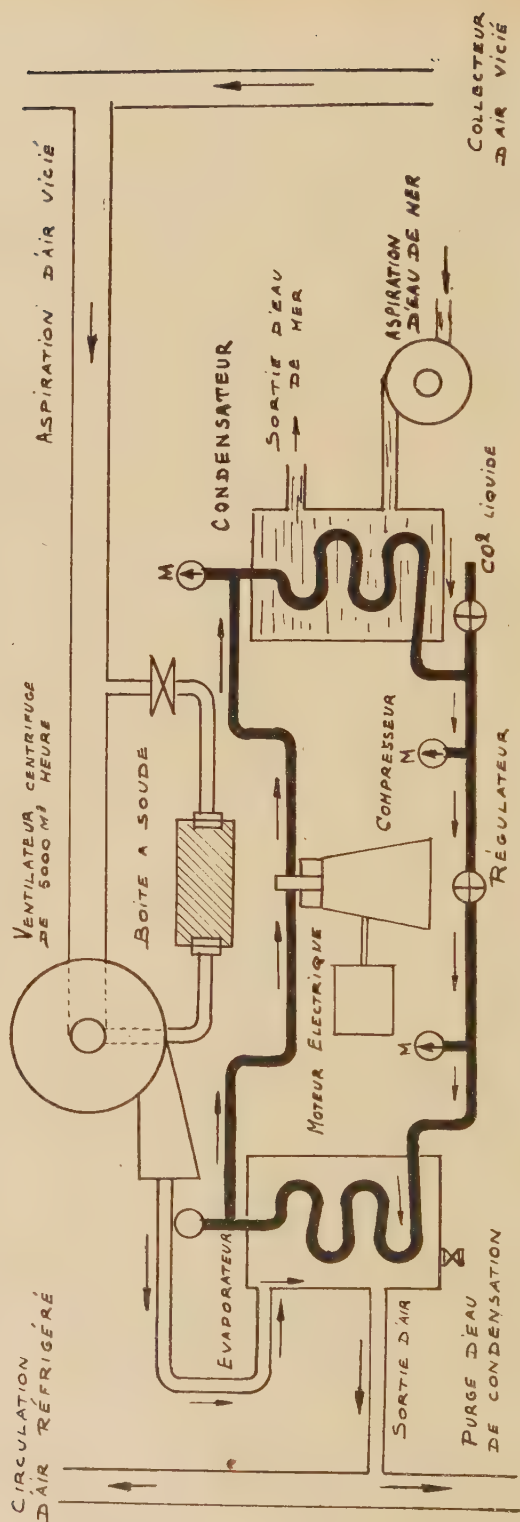
Température de l'air extérieur.....	35°
Température de l'eau de mer	30°
Degré hygrométrique extérieur....	100/100

Les appareils se composent : d'une machine productrice de frigories et d'un réseau de canalisations destinées à l'aspiration de l'air extérieur et de l'air vicié et chaud de l'intérieur et à la répartition dans le bâtiment de l'air refroidi et asséché.

Le frigorifère est constitué par :

a) un compresseur à 2 cylindres mû par moteur électrique à accouplement direct qui comprime, à une pression suffisante pour le liquéfier, le gaz carbonique aspiré à l'évaporateur ;

SCHEMA DESCRIPTIF DES CIRCULATIONS D'AIR ET DE GAZ CARBONIQUE



ENTRAITS PLEINS
CIRCULATION DE GAZ CARBONIQUE

b) un condensateur à serpentins où le CO^2 comprimé est refroidi à l'eau de mer et se liquéfie ;

c) un évaporateur ou réfrigérant constitué par des serpentins où le CO^2 crée, par évaporation, une très basse température ;

d) une pompe centrifuge électrique assurant la circulation d'eau du condensateur ;

e) un ventilateur centrifuge de 5.000 m³-heures qui aspire l'air dans la proportion de 4/5 à l'intérieur et de 1/5 à l'extérieur quand le sous-marin est en surface, exclusivement à l'intérieur pendant la plongée. Cette aspiration se fait par un collecteur spécial. L'air est refoulé sur les serpentins du frigorifère où il se refroidit et s'assèche par condensation de la vapeur d'eau, puis distribué par un collecteur dit d'air frais réfrigéré.

Les appareils sont généralement installés au-dessous des appartements et de la coursive des officiers sur toute la largeur du bâtiment. Le réfrigérant occupe la place d'une chambre d'officier ; l'ensemble est à la fois lourd et encombrant.

Le réseau des canalisations est ainsi constitué :

1° Un circuit d'aspiration d'air vicié dans les locaux habités (postes d'équipages avant et arrière, logements des officiers et des maîtres) avec dérivation de section aspirant à l'extérieur ;

2° Un by-pass destiné à régler, grâce à un robinet distributeur, la quantité d'air frais à faire circuler dans le frigorifère ;

3° Un circuit de refoulement d'air rafraîchi à distribuer dans les locaux habités.

Il est extrêmement important d'assurer aux vitesses de déplacement une égale répartition ; elles doivent être comprises entre 1 et 3 mètres à la seconde. De plus, la température de l'air rafraîchi ne doit pas s'abaisser au-delà de 5° par rapport à celle de l'atmosphère ambiante.

La diffusion de l'air se réalise au moyen de thermo-tanks à jet orientable situés à la partie supérieure des locaux.

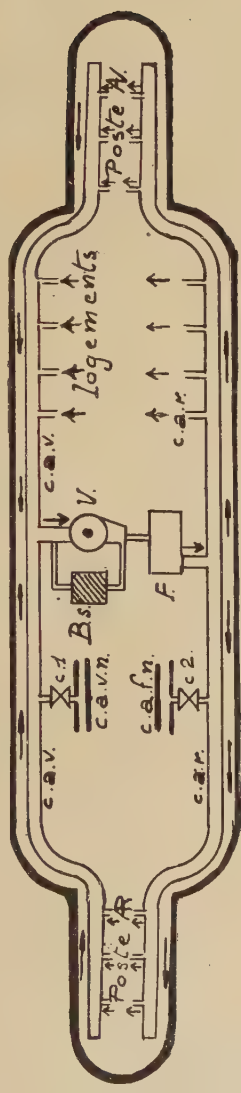
Tout à côté de ce circuit propre à l'air conditionné s'en trouve un autre, pour la ventilation des locaux de travail, identique à celui que possèdent les sous-marins en pays froids ou tempérés. Ces deux circuits peuvent être mis en communication par vanne.

FONCTIONNEMENT. — L'air conditionné est exclusivement réservé aux locaux d'habitation et de repos : postes d'équipages et des maîtres, carré et chambres des officiers (1). Les Diesels et les électriques reçoivent de l'air frais non conditionné.

Pour que le rendement soit bon, il est indispensable d'isoler complètement les compartiments bénéficiaires de l'air conditionné ; il faut donc tenir toujours fermées les portes étanches. Le poste arrière est, le plus souvent, mis en légère surpression pour éviter l'arrivée d'air chaud ; la porte qui le fait communiquer avec le compartiment des électriques est maintenue décollée, permettant aux électriciens de bénéficier d'un peu de fraîcheur.

(1) L'air réfrigéré peut aussi être distribué à la soute à munitions.

SCHEMA DESCRIPTIF DE LA CIRCULATION D'AIR CONDITIONNÉ



LÉGENDE :

- V - Ventilateur.
- B.S. Boite à soude.
- F. Frigorifère.
- C.à.V. Collecteur d'air vicié.
- C.à.R. Collecteur d'air réfrigéré.
- C.a.v.n. Collecteur d'air vicié pour la ventilation normale.
- C.a.f.n. Collecteur d'air frais.
- C1 et C2. Communication entre les deux réseaux (fermée lorsque l'air conditionné circule).

L'assèchement de l'atmosphère n'étant possible qu'avec son refroidissement, il est évident que l'utilisation de l'air conditionné n'est pas indiquée dans les zones tempérées mais uniquement dans les pays chauds et humides. Dans ces contrées, l'air conditionné est distribué en permanence au mouillage et à la mer, en surface comme en plongée. Malheureusement, la consommation d'énergie électrique est importante (50 ampères-heures); tous les cinq jours environ il faut charger les accumulateurs.

ACTION SUR L'ATMOSPHÈRE DU SOUS-MARIN. — Nous n'envisageons cette action que dans les pays chauds et humides.

1° *A la mer en surface.*

a) Abaissement de la température. — L'air qui a circulé autour des serpentins dont la température est maintenue à 0° sort à 18° environ du frigorifère; grâce à sa vitesse de circulation, il se réchauffe peu dans les collecteurs et fait rapidement sentir son action bien-faisante dans les locaux où il est distribué.

Si l'on prend régulièrement la température aux postes avant et arrière, on constate que la moyenne relevée dans les 24 heures est voisine de la température extérieure moyenne prise à l'ombre. Les minima sont constatés entre 0 et 4 heures; la température s'élève dans la matinée au moment de la préparation des repas, monte encore dans l'après-midi pour atteindre son maximum vers 16 heures, puis redescend lentement. Elle suit donc à peu près le rythme de la vie à bord. La tempéra-

ture moyenne du poste arrière voisin du compartiment des électriques est supérieure d'environ 1° à celle du poste avant. Ce sont les chambres d'officiers situées au voisinage immédiat de l'installation de réfrigération qui bénéficient le plus, cela va sans dire, du rafraîchissement de l'air ; mais il est indispensable, pour y conserver la fraîcheur, de fermer hermétiquement les portes donnant accès sur la coursive où circule un courant d'air chaud provenant du poste central non réfrigéré. La nécessité d'y utiliser les ventilateurs portatifs ne se fait pas sentir : le brassage de l'air est suffisamment assuré par les thermo-tanks.

En résumé, les températures relevées à bord des sous-marins dotés d'air conditionné, comparées à celles des bâtiments qui en sont dépourvus, laissent apparaître en faveur des premiers un abaissement moyen de 3 à 4°.

b) Dessiccation de l'atmosphère. — L'air se dessèche au contact du serpentín du frigorifère (1) par condensation de sa vapeur d'eau ; la quantité d'eau recueillie de ce fait dans la cale est de 200 à 300 litres par jour. La diminution du degré hygrométrique est d'environ 15°, ses variations sont sensiblement parallèles à celles de la température : très bas dans la nuit entre 0 et 4 heures (55 à 70°), il s'élève dès la mise en marche de la cuisine électrique au cours de la matinée (80 à 90°), puis redescend pendant la journée. On peut dire que cet assèchement relatif de l'atmosphère est le bienfait le plus important qu'apporte le conditionnement de l'air,

(1) Ce serpentín est maintenu à 0° pour éviter la formation d'une couche de glace isolante.

car il facilite la transpiration et l'élimination de la vapeur d'eau par la voie pulmonaire et, du même coup, diminue la gêne respiratoire importante qu'on ressent en atmosphère saturée. Et puis cet abaissement de l'humidité évite le ruissellement sur les parois et les couchettes et entraîne une notable atténuation des mauvaises odeurs dues à la transpiration et aux fermentations de produits organiques.

2° *En plongée.* — L'atmosphère réfrigérée conserve, au moment de la plongée, ses qualités de fraîcheur et de sécheresse. Les progrès apportés par le conditionnement de l'air ont été mis en évidence d'une manière particulièrement nette au cours de plongées de 24 heures effectuées simultanément aux environs de Dakar par les sous-marins Xc... et Z..., le premier seul pourvu d'air conditionné.

Après 10 heures d'immersion, les températures moyennes dans les postes étaient respectivement de 26 et de 32° et l'état hygrométrique de 60 % et 100 %. A la fin de la plongée les conditions atmosphériques sur l'Xc... (21° et 65 %) étaient restées compatibles avec un excellent état de l'équipage ; aucun signe de fatigue ni de gêne. Sur le Z... au contraire la température élevée (34°) et la saturation de l'air (100 %) avaient rendu le séjour pénible à tel point que la plongée avait dû être écourtée.

3° *Au mouillage.* — L'amélioration du séjour à bord est encore plus sensible au mouillage, puisque plusieurs sources de chaleur disparaissent (moteurs thermiques et électriques, cuisine de plongée, accumulateurs en

charge). On a, pour une température extérieure moyenne de 25° aux Antilles, relevé les chiffres suivants :

Machine à réfrigération stoppée, température moyenne	31°
Machine à réfrigération en marche, température moyenne	25°

Mais pour assurer un rendement maximum à l'installation frigorifique, il est indispensable de fermer les panneaux des postes d'équipages avant et arrière : cette mesure, difficilement réalisable de jour en raison des nécessités du service, peut être obtenue sans difficulté la nuit. Elle préserve les postes de la chaleur et de l'humidité nocturnes.

Naturellement, lorsque les hommes peuvent vivre et dormir sur le pont, l'installation de réfrigération est stoppée par raison d'économie : on la remet en route pour un travail pénible : entretien ou mise aux tubes de torpilles au poste avant par exemple.

Au mouillage prolongé, dans certaines bases sous-marines, le fonctionnement de l'installation est assuré sans charge autonome par un groupe convertisseur branché sur le courant à terre.

Nous donnons, ci-dessous, quelques relevés de températures et de degrés hygrométriques aux postes avant et arrière du sous-marin Xc... On voudra bien comparer ces chiffres à ceux enregistrés dans des conditions analogues sur des bâtiments non pourvus d'air conditionné (voir chapitre chaleur et humidité).

Heures	Températures		Etat hygrométrique	
	Poste avant	Poste arrière	Poste avant	Poste arrière
<i>Octobre : température à midi et à l'ombre 26° entre Porto Praia et Rio de Janeiro.</i>				
24	26	29	73	61
4	25	29	80	67
9	28	28	96	60
10	28,6	27	86	60
11	29,5	28	85	64
13	29	28,5	74	60
15	28	29	74	58
18	29	29	80	58
20	26,5	29,5	77	61
moyenne	27,7	28,7	80	62
<i>Novembre : température à midi et à l'ombre 27° de Bahia à la Trinidad.</i>				
4	25,5	29	65	61
8	25,5	29	73	65
10	29	29,3	81	71
12	28,5	29	74	78
14	27,5	30	75	92
16	27,5	30		
18	27,5	29	70	60
20	26	29	73	60
24	25,5	29	72	67
moyenne	27	29,2	72	67
<i>Novembre : température à midi et à l'ombre 28°.</i>				
4	25	28	70	60
8				
10	28	29	88	65
12	28,5	29	77	58
14	28,6	29	77	58
16	30	30	83	62
18	28	30	70	56
20	28	30	70	56
24	25	27	63	58
moyenne	27,6	29	74	59

CONSÉQUENCES PHYSIOLOGIQUES. CONCLUSIONS. —

Le dessèchement de l'air, combiné avec son refroidissement, permet, en pays chauds, un séjour à bord, sinon agréable, du moins très supportable. Il améliore, d'une façon très appréciable, les conditions de vie. De l'avis général, l'atmosphère est meilleure à bord d'un sous-marin pourvu d'air conditionné qu'à bord d'un bâtiment de surface placé dans les mêmes conditions. A plusieurs reprises, on a pu constater que les hommes, loin de délaisser le bord, y goûtaient, en dehors des heures de travail, un sommeil réparateur. Les symptômes de fatigue générale, habituellement observés sur les sous-marins en croisière dans les pays tropicaux, ont disparu avec le conditionnement de l'air, et les équipages ont conservé, jusqu'à la fin, leur appétit, leur entrain, leur résistance physique et morale, conditions indispensables aux meilleures qualités militaires.

Au retour de longues croisières, les hommes sont toujours soumis à une visite médicale de contrôle approfondie comportant, en particulier, une pesée. Nous rapportons les constatations faites sur des équipages qui ont bénéficié d'air réfrigéré au cours d'une croisière de six mois dans l'Atlantique Sud, et aux Antilles :

Sous-marin *Zb...* sur 54 hommes pesés :

41 avaient augmenté de poids,

1 était resté stationnaire,

12 avaient maigri.

Sous-marin Xc... sur 50 hommes pesés :

36 avaient augmenté de poids,

1 était resté stationnaire,

13 avaient maigri.

80 % des hommes ont donc pris du poids malgré les efforts et les fatigues ; ces faits mettent en évidence l'immense avantage qu'apporte aux sous-marins coloniaux le conditionnement de l'air, avantage qui se traduit par une amélioration du séjour et une augmentation du rayon d'action.

CHAPITRE II

HABITABILITÉ ET HYGIÈNE COMMUNE

Nous allons étudier, dans les pages qui suivent, quelques questions d'hygiène navale qui ne sont pas spéciales aux sous-marins. Toutefois, le caractère militaire très particulier de ces bâtiments donne à ces problèmes d'hygiène commune un côté original qu'il convient d'approfondir.

1^o LOGEMENT ET COUCHAGE

Il suffit de parcourir l'intérieur d'un sous-marin pour se rendre compte que l'espace réservé au logement est nécessairement fort réduit. Il ne saurait être question d'y réaliser le confort qu'on trouve sur un bâtiment de surface. Aussi a-t-on prévu, pour les équipages des sous-marins, à leur base, des postes à terre appelés « Centres » ou « Stations » sur lesquels nous aurons l'occasion de revenir.

A la mer, le service est ainsi assuré :

Un tiers de l'effectif est aux postes de veille pendant

que les deux autres tiers sont au repos. Cette disposition propre aux sous-marins depuis 1922 a remplacé la « bordée » usitée sur les autres bâtiments comme base du service à la mer.

Au mouillage, en escale, au cours d'une croisière ou en rade, une grande partie du personnel peut être au repos simultanément. Quelques factionnaires exercent la surveillance du bâtiment.

Les logements sont répartis de manière à permettre aux hommes de rejoindre leur poste le plus rapidement possible en cas d'alerte.

LOGEMENTS DES OFFICIERS. — Situés entre le poste des maîtres et le poste central, près du centre du bâtiment à l'avant et au-dessus des compartiments d'accumulateurs, les logements des officiers sont répartis de part et d'autre de la coursive axiale du sous-marin. Ils comprennent les chambres et un carré avec office.

Chambres. — En France, les officiers ont presque toujours eu, dès que le tonnage l'a permis, une chambre particulière. Ce principe n'est pas admis depuis longtemps dans les Marines étrangères ; seul le Commandant avait alors une chambre, les autres officiers logeaient en poste. En particulier sur les sous-marins allemands, sauf sur l'*Halbronn* il en était ainsi. Cette disposition adoptée dans la Marine française sur le *Maurice Callot* avait toutefois l'avantage d'offrir aux officiers un local relativement vaste et facile à ventiler.

Les chambres sont en nombre variable suivant le tonnage et le type du bâtiment. On en compte d'ordi-

naire trois sur les « 600 tonnes », quatre sur les « 1.500 tonnes », certains sous-marins en possèdent une supplémentaire réservée au Chef d'escadrille ; ceux du type *Redoutable* ont même une chambre de veille accolée au kiosque.

Chaque chambre est pourvue :

d'une couchette de 1 m. 92 sur 0 m. 70 relevable, sous laquelle est installé un canapé en moleskine dont la partie inférieure est disposée en commode à tiroirs ;

d'un lavabo à cuvette basculante ;

d'une table à planche rabattable surmontée d'une étagère-bibliothèque ;

d'armoires ou penderies ;

d'un siège.

L'espace libre est fort réduit et le cubage restreint : 2 m³ 5 à 3 m³ approximativement. On est parvenu à réduire l'humidité et à éviter le ruissellement sur les parois en revêtant celles-ci de lambris et le plafond de carton d'amiante formant lame d'air. Une couche de peinture blanche vernissée liégée empêche les condensations de vapeur d'eau. Sur les sous-marins de faible tonnage la place a été calculée au plus juste ; c'est ainsi que dans une chambre la couchette fixe occupe toute la longueur et se trouve très haut placée, car sous sa tête empiète le pied de la couchette de la chambre voisine.

D'ordinaire, les chambres du Commandant et du Chef d'escadrille sont plus vastes et plus confortables ; leur mobilier est complété par une armoire à documents secrets et un coffre-fort. Un porte-voix les relie au poste central.

Sur les anciens sous-marins, l'ingénieur-mécanicien logeait sur l'avant-tribord du compartiment des auxiliaires. Sa chambre était convenablement située pour le service, mais mal pour le repos en raison du bruit et de l'atmosphère des machines.

Quant à la chambre de veille, elle constitue, quand elle existe, le compartiment arrière du kiosque. Rarement occupée par le Commandant, malgré la pauvreté de son mobilier, elle est très habitable.

Carré. — Il sert de salle à manger aux officiers et, en dehors des heures de repas, de lieu de réunion ou de détente. Suivant le type de sous-marin, il s'étend sur toute la largeur du bâtiment ou seulement sur une moitié. Dans le premier cas, on y est constamment dérangé par les allées et venues du personnel circulant du poste des maîtres au poste central. Dans le second cas, envisagé lorsqu'une chambre doit être prévue pour le chef d'escadrille, le carré est alors clos, plus petit, mais aussi plus intime : il mesure 1 m. 95 de long sur 1 m. 55 de large et 2 mètres de hauteur moyenne. La table a 1 m. 16 sur 0 m. 85 ; les banquettes sont à caissons garnies de coussins de moleskine. Dans les parois sont ménagées de petites armoires pour la vaisselle et l'argenterie. quelques tableaux forment la décoration.

Office. — Adjacent au carré ou face à lui, l'office, de dimensions très réduites, comprend une souillarde et des armoires en tôle légère pour la vaisselle, les couverts et quelques denrées alimentaires.

LOGEMENTS DES OFFICIERS MARINIERS. — Ils comprennent :

Pour les deux principaux gradés (patron, premier maître mécanicien) deux chambres sur les « 1.500 tonnes », une chambre à deux couchettes sur les petits bâtiments ;

Pour les maîtres et seconds maîtres : un poste à l'avant des logements des officiers de 3 m. 80 sur 2 m. 80 et d'une hauteur de 2 m. 10 sur les sous-marins de 1.500 tonnes donnant un cubage de 1 m³ 70 environ par homme. Six couchettes à babord et autant à tribord sont disposées en trois rangs superposés, celles de l'étage supérieur sont à rabattement (elles se relèvent à 45° contre la paroi en dehors des heures de repos), les autres peuvent être rentrées à la façon d'un tiroir. Elles mesurent 1 m. 92 × 0 m. 60 et sont pourvues d'un couvre-lit bleu et de rideaux permettant, pour la nuit, leur isolement du passage central. De petites armoires métalliques sont disposées dans les espaces compris entre les couchettes. Aux heures de repas, une table pliante est dressée au milieu du compartiment. Ce poste trop exigu est peu confortable : proche des « bouteilles » et de la cambuse, il recèle souvent de mauvaises odeurs et constitue de plus un lieu de passage fréquent pour les matelots qui se rendent au poste avant, aussi la propreté et l'entretien y sont-ils difficilement réalisables.

LOGEMENTS DE L'ÉQUIPAGE. POSTES. — Les quartiers-maîtres et matelots sont logés dans les compartiments extrêmes : postes avant et arrière. Ils sont répartis dans la mesure du possible à proximité de leur poste de quart (1).

(1) Quelques hommes couchent dans la coursive ou dans le

Ces compartiments servent à la fois de dortoirs, de réfectoires et de lieux de détente.

Le poste avant, qui va des quatre tubes lance-torpilles avant à la première cloison étanche, peut recevoir 18 hommes. Ses dimensions, sur un sous-marin de 1.500 tonnes, sont d'environ 8 mètres de long, 2 mètres de large et 2 m. 15 de hauteur moyenne. En raison de la présence de divers appareils (pompes d'assèchement et d'épuisement, guindeau, barres de plongée, etc...) le cubage utile n'y dépasse guère 1 m³ 500 par homme. Ce poste particulièrement humide reçoit les émanations des poulaines et de la cuisine de plongée.

Le poste arrière, situé au-delà de la cloison étanche qui le sépare du compartiment des électriques, loge 27 hommes. Ses dimensions sont à peu près identiques à celles du poste avant, mais, contenant moins d'appareils, il a par suite un cubage utile équivalent. Plus chaud que le précédent, il est par contre un peu moins humide.

Couchage. — La plupart des hommes dorment dans des couchettes. Quelques hamacs seulement sont crochés dans l'espace compris entre les tubes lance-torpilles et l'avant des couchettes ainsi que dans le passage central. Bien que le hamac permette une meilleure utilisation de l'espace disponible, soit plus confortable par fort roulis et d'un entretien plus facile, il est générale-

poste central ; il est en effet possible d'installer dans la partie babord de ce compartiment un petit nombre de hamacs et même de les isoler à l'aide de rideaux.

ment réservé sur les sous-marins aux subsistants (1) et à l'équipage supplémentaire. La couchette, au contraire, est plus spacieuse et l'homme qui en dispose a l'impression d'être mieux logé, mieux chez lui. Par gros temps elle n'expose pas le dormeur aux heurts contre les parois d'un espace restreint. On utilise donc le plus de couchettes possible et on complète par des hamacs.

Les couchettes sont installées en abord sur trois étages à l'écartement de 0 m. 50. Sur les « 1.500 tonnes » le poste arrière en possède 24, le poste avant 12 (9 à babord, 3 à tribord seulement à cause de la cuisine électrique, du lavabo et des pompes d'épuisement). Elles sont comme celles des maîtres, rabattables ou à tiroirs. Certaines dispositions sont encore défectueuses, notamment celles qui ont trait aux couchettes inférieures ; très lourdes, les hommes ont parfois peine à les manœuvrer, surtout par roulis et quand il s'agit de les rentrer ; souvent, le glissement se faisant mal, la couchette est bloquée. La rangée inférieure repose directement sur le parquet au contact de l'humidité et, souvent, à la mer, de la malpropreté. Il convient dans les constructions futures de porter remède à ce point.

Entièrement métalliques, les couchettes comprennent un cadre en duralumin de 1 m. 92 sur 0 m. 60 par 0 m. 15 de hauteur, un sommier à lames, en fil d'acier ou à ressorts à boudin ; elles sont garnies d'un matelas à bourrelets, dit américain, de 6 centimètres d'épaisseur,

(1) On donne, dans la Marine, le nom de subsistants aux hommes non embarqués à titre permanent mais seulement en service provisoire.

d'un traversin de section triangulaire, d'une toile de roulis et de deux couvertures de laine brune.

Sur les anciens sous-marins, jusqu'à la fin de la Grande Guerre, les couchettes n'étaient pas individuelles : leur nombre correspondant à peu près à la moitié de l'effectif à la mer, les hommes quittant le quart prenaient la place laissée libre par ceux qui entraient en service ; les couvertures n'étaient pas davantage personnelles. De fréquents lavages suivis de désinfection diminuaient un peu les inconvénients de cet état de choses.

Un grand progrès dans le mode de couchage a été réalisé, ce n'est pas niable ; néanmoins les couchettes actuelles sont d'un entretien difficile. Pendant la journée, l'homme s'y étend vêtu de son costume de travail, souvent huileux : matelas et couvertures sont donc rapidement souillés. On a proposé de remplacer le sommier par une simple toile amovible lavable, tendue sur le cadre métallique. Peut-être pourrait-on envisager également la constitution d'un cadre pliant rappelant celui du brancard sanitaire qui permettrait une réduction appréciable de volume et un gain de place (D^r DUPAS). Il serait souhaitable aussi de doter les équipages, sinon de pyjamas, du moins de sacs de couchage toile (un en service l'autre au lavage) faciles à nettoyer, isolant le dormeur de la literie. On conçoit qu'en matière de couchage un excès de propreté ne soit pas déplacé, car la promiscuité inévitable dans les postes entraîne un risque constant de propagation d'infections ou de parasitoses.

Dans les pays chauds, les hommes couchent le plus

souvent sur le pont pour fuir l'atmosphère surchauffée du sous-marin, malheureusement des refroidissements plus ou moins dangereux sont parfois contractés aux heures les plus fraîches de la nuit par des hommes mal couverts.

Caissons. — Tout à côté de son poste de couchage, chaque matelot dispose d'un caisson pour son linge et ses effets. Ces caissons, entièrement métalliques, sont situés en abord de chaque poste entre les couchettes; leur porte est à double battant cadénassé. Faciles à entretenir extérieurement, ils le sont moins intérieurement. Trop petits pour le contenu du sac de marin, sans ordre, vêtements, linge propre, linge sale, objets de toilette, etc... y sont le plus souvent négligemment empilés; et c'est dans cet espace clos, favorisé par l'humidité et la chaleur, le développement des moisissures si funestes à la bonne conservation des effets. Là encore, il serait désirable qu'on pût doter les hommes de petits sacs à linge sale.

Il n'y a pas de caissons correspondant aux hamacs des postes.

HABITABILITÉ. CONCLUSIONS. — L'habitabilité dépend, sur le sous-marin, comme du reste sur les bâtiments de surface, de plusieurs facteurs : cubage utile, aération, ventilation, propreté, température et état hygrométrique. Si le premier facteur ne peut être modifié sur le sous-marin, les autres doivent y suppléer.

L'aération et la ventilation, nous l'avons montré, donnent à peu près tout ce qu'on est en droit de leur

demander ; elles sont toutefois renforcées dans les pays chauds, par des ventilateurs portatifs, pour le plus grand bien-être des équipages. Leur avantage est manifeste par la sensation de fraîcheur qu'ils donnent en favorisant l'évaporation de la sueur. Il y a lieu cependant de remarquer que leur efficacité est en partie sous la dépendance de l'espace vide ménagé derrière eux. Il ne faut donc pas les placer trop près des parois. Si la disposition des lieux ne permet pas une installation rationnelle, on pourrait envisager des ouvertures grillagées dans les cloisons contre lesquelles les ventilateurs sont appliqués (LE GAC).

La propreté doit être rigoureuse, surtout dans les postes d'équipages à la mer.

2° PROPRETÉ DU BATIMENT

Il faut des soins méticuleux et constants si l'on veut tenir le sous-marin dans un état de propreté satisfaisante ; trop d'éléments concourent à la négligence de ce point important d'hygiène : manque de place, allées et venues incessantes dans des passages étroits, travail dans l'huile et le pétrole.

Il faut proscrire le balayage à sec et utiliser l'aspirateur de poussières. Les moindres détritrus provenant de l'alimentation doivent être rejetés au dehors et sans retard quand le bâtiment navigue en surface. Sur certains sous-marins on a su remplacer le cuivre et le laiton (tuyautages, plaques, manettes, etc...) par un alliage inoxydable à base de nickel ; plus agréable à l'œil et

inaltérable à l'humidité, il a l'immense avantage d'être d'un entretien facile.

Quelques autres points mériteraient une attention particulière. Des crachoirs devraient être disposés dans chaque poste, aux machines et au poste central; un type émaillé avec dispositif de stabilité en cas de roulis serait indiqué. Un essuyage régulier des échelles devrait être assuré. On a proposé l'emploi de tapis dits « de passage » dans les compartiments des machines : les parquets métalliques bien que pourvus de légers reliefs deviennent très glissants avec l'huile, le pétrole et la graisse. Des chutes, pouvant entraîner des accidents graves, se produisent fréquemment au roulis dans ces lieux encombrés de moteurs en mouvement. Il est vrai que ces parquets métalliques sont difficiles à entretenir, il n'en est pas moins exact que par les chaussures le bâtiment tout entier se trouve dans un état de malpropreté regrettable.

Les moyens d'hygiène dont on dispose actuellement permettent d'affirmer qu'une habitabilité satisfaisante est parfaitement possible sur les sous-marins modernes, encore faut-il un entretien continu et de la part des responsables une surveillance constante dirigée contre la négligence favorisée à la mer par les fatigues et le mauvais temps.

3° CHAUFFAGE ET ÉCLAIRAGE

CHAUFFAGE. — En hiver il fait souvent très frais à bord, surtout au mouillage quand les moteurs sont

stoppés. Le chauffage des logements est alors assuré par des radiateurs électriques de 1 à 4 kw répartis ainsi : deux par poste, un par chambre d'officier, un pour le carré. Ce mode de chauffage est suffisant, il est au reste beaucoup plus pratique que le chauffage à la vapeur des anciens sous-marins ex-allemands.

Par contre, en cale sèche, il n'en est pas de même surtout lorsque les bâtiments subissent un grand carénage ou des transformations importantes ; le chauffage, cela va sans dire, est difficile, parfois même impossible à réaliser sur des unités transformées en chantiers. Et si l'on songe qu'au bassin la fraîcheur est particulièrement intense, il ne faut pas être surpris d'enregistrer des cas de grippe, de rhume ou d'angine chez des hommes obligés de faire à bord, l'hiver, le quart de nuit. Il serait souhaitable que la surveillance et la sécurité du bâtiment soient assurées la nuit par le nombre d'hommes strictement indispensable.

ECLAIRAGE. — Même au mouillage, la lumière du jour qui pénètre par les panneaux ouverts est notablement insuffisante. L'éclairage artificiel est, dès lors, d'une importance primordiale en toutes circonstances. Il est assuré par des lampes de 16 ou 32 bougies sur courant de 110 volts ; leur répartition varie suivant le compartiment et le travail qui s'y effectue. L'éclairage est le plus souvent direct ; grâce à l'emploi de verres dépolis ou opalins, les troubles oculaires imputables à la lumière électrique sont assez rares. Dans certains locaux, au poste central en particulier, l'éclairage indirect pour les commandes de plongées a été réalisé sur

quelques bâtiments. Ce système s'est avéré fort intéressant pour la vision, surtout quand la manœuvre des gouvernails de plongée qui exige une attention soutenue doit être prolongée.

Un dispositif de secours, constitué par des lampes balladeuses pouvant être branchées sur des prises de courant et des fanaux portatifs à accumulateurs (un par compartiment, sept supplémentaires), a été prévu. Les fanaux sont arrimés sur des étagères où le personnel peut les trouver commodément dans l'obscurité.

L'isolement du réseau électrique doit être particulièrement soigné, tout spécialement celui des balladeuses : l'humidité de l'atmosphère, le ruissellement sur les parquets et les appareils, la transpiration, sont autant de risque d'électrocution surtout en pays chauds et pendant les longues plongées.

4° HABILLEMENT

Les conditions de vie à bord : travaux pénibles et salissants, encombrement, chaleur excessive, difficultés de blanchissage, rendent la question vestimentaire singulièrement complexe, surtout au cours d'une croisière de longue durée.

Pas plus sur le sous-marin que sur le bâtiment de surface, on ne saurait conserver la tenue dite de sortie. Les hommes revêtent, à bord, la tenue de travail grise ou mieux le bleu de chauffe. Signalons tout de suite combien il serait souhaitable que l'équipement du personnel fût limité aux vêtements de première nécessité,

avec possibilité d'en changer fréquemment. Il serait indispensable également d'en faire un choix judicieux, suivant les circonstances et les climats.

Par mauvais temps, les hommes de quart (timoniers, manœuvriers, pilotes) revêtent le « ciré » et chaussent les bottes de cuir pour se garantir des paquets de mer qui déferlent sur les superstructures et les inondent.

En pays chauds, l'équipage est parfois doté de vêtements spéciaux : chemisettes coloniales, chaussures de toile blanche.

Ces mesures, laissées au libre choix du commandement, devraient être généralisées.

Lorsque la température intérieure atteint 30°, les vêtements habituels deviennent intolérables : en particulier, le tricot de coton réglementaire rayé, à manches longues, devrait être remplacé par le tricot dit « de combat » plus léger et à manches courtes. On a demandé, pour les équipages de nos sous-marins, le short en usage dans quelques Marines étrangères notamment anglaise et italienne. Quant aux souliers de cuir, lourds et gênants, qui entretiennent la sudation, ils sont avantageusement remplacés par les espadrilles de toile dont il faut proscrire la semelle de corde qui s'imbibe d'huile et de pétrole et laisse partout des traces. La semelle de cuir mince ou mieux de bois est tout indiquée pour les mécaniciens, elle isole assez bien le pied des parquets métalliques brûlants des Diesels.

La lutte contre les refroidissements doit être parallèlement organisée. Trop souvent, en pays chauds surtout, les hommes, après la plongée, se précipitent sur le pont en tenue légère, s'exposant ainsi à un changement

brusque de température. Pourquoi ne pas les obliger à revêtir un jersey ? (1)

Pour lutter contre les refroidissements nocturnes, on a préconisé le port d'une ceinture de flanelle. Cette mesure a même été rendue réglementaire pour certaines croisières et a prouvé son efficacité. Encore faut-il exiger le lavage fréquent de ces ceintures qui, s'imbibant de sueur, deviennent imperméables et peuvent, au cours d'une nuit fraîche, se transformer en compresses froides et humides et provoquer ainsi des coliques et diarrhées.

5° PROPRETÉ CORPORELLE

Plus encore que sur les autres bâtiments, la propreté est nécessaire à bord des sous-marins : la chaleur et les multiples occasions de se salir rendent cette mesure d'hygiène indispensable. Or, les moyens dont ils disposent sont si médiocres que les hommes restent souvent longtemps sans se laver : ainsi s'expliquent les nombreuses affections inflammatoires de la peau (furoncles, abcès, panaris) observés chez les sous-mariniers.

Jusqu'à la Guerre, chaque membre de l'équipage ne disposait guère, pour la boisson et le lavage, que d'un litre d'eau douce par jour ; il était généralement admis qu'on ne se lavait pas pendant toute la durée d'une croisière. Fort heureusement, les conditions d'hygiène corporelle se sont améliorées, mais n'ont pu se développer

(1) On désigne sous ce nom le tricot de laine bleu marine à manches longues que les équipages portent en saisons froides sous la vareuse.

comme on l'eût souhaité, en raison du faible tonnage des sous-marins et du genre de vie que les nécessités militaires y imposent.

LAVABOS. — Les chambres des officiers et des premiers maîtres sont pourvues d'eau courante. Le lavabo, à cuvette renversable, est alimenté par un réservoir branché sur le collecteur d'eau douce ; l'évacuation se fait dans le collecteur des eaux usées du bord.

Les officiers-mariniers disposent, à l'avant babord de leur poste, d'un petit local servant à la fois d'office et de cabinet à toilette avec 2 ou 3 cuvettes à robinets indépendants. Bien qu'un peu exigüe, cette installation donne toute satisfaction.

L'équipage, lui, dispose ordinairement d'un ou de deux lavabos dans chacun des 2 postes, et parfois d'un lavabo supplémentaire dans les poulaines de l'avant et de l'arrière, pratiquement jamais utilisé.

Les aménagements varient suivant le type de bâtiment.

Il n'est pas douteux qu'avec ces lavabos de dimensions réduites et en nombre insuffisant, la toilette est une opération délicate et longue. Leur présence est, de plus, une cause d'humidité permanente et de souillure pour le parquet, les cloisons et les couchettes.

Pour remédier à cet état de choses, certains sous-marins ont été pourvus de cuves cylindriques servant à la fois de lavabo et de lavoir et, ce qui est plus pratique et plus hygiénique, de cuvettes individuelles en tôle. Malheureusement toutes les unités n'en sont pas encore dotées.

L'installation à proximité des moteurs d'un lavabo à l'usage du personnel qui accomplit les travaux les moins propres a été proposée (D^r DUPAS). Les mécaniciens, à la fin de leur quart, pourraient ainsi se laver les mains.

DOUCHES. — Des appareils à douches sont installés : dans un petit local voisin de l'office pour les officiers ; dans leur lavabo pour les officiers-mariniers ; dans chacune des « bouteilles » (au moins dans les sous-marins de 1.500 tonnes) pour les équipages.

Ils sont alimentés à l'eau de mer, soit froide par le collecteur d'équilibrage, soit chaude par une dérivation de la circulation des Diesels, d'où nécessité d'utiliser un savon spécial à la colophane rendu réglementaire depuis 1925 (savon BRUNET). Depuis quelques années, toutefois, il est possible d'utiliser l'eau douce avec certaines précautions destinées à éviter toute communication entre les collecteurs d'eau de mer et d'eau douce. Mais cette mesure n'est réalisable à la mer que si la traversée est de courte durée, et au mouillage si l'approvisionnement est facile. La mise en service des bouilleurs a considérablement étendu, sur certains sous-marins, l'usage de l'eau douce.

Malheureusement, les appareils à douches sont délaissés. Les hommes éprouvent une répugnance assez compréhensible à s'en servir dans des locaux trop étroits qui, c'est le cas surtout des « bouteilles », sont le plus souvent mal tenus et malodorants. Aussi ont-ils été supprimés sur certains bâtiments où l'on a pensé faire mieux.

Dès avant la Guerre, un dispositif de rampe à jets filiformes avait été expérimenté sur le pont de certains bâtiments de surface ; réalisé depuis quelques années sur des sous-marins en croisière, il a donné entière satisfaction. C'est ainsi que, sur la plage arrière du *Xg...*, des douches avaient été organisées en vue de son voyage aux Antilles. L'eau contenue dans les régleurs était amenée sous pression par une manche et distribuée dans une rampe à cinq robinets. L'installation servait également au lavage du linge. Sur le *Héros* et le *Glorieux* (1) le dispositif comportait un tuyautage communiquant avec la caisse de plongée rapide par l'intermédiaire de la montée d'incendie milieu et le collecteur d'assèchement ; le tuyautage s'épanouissait sur le pont en plusieurs branches pourvues de pommes d'arrosoir. Le plein d'eau douce, ou à défaut d'eau de mer, se faisait dans la caisse de plongée rapide et les douches fonctionnaient par la mise en pression de cette caisse.

Plusieurs sous-marins, ces dernières années, ont utilisé, au cours de croisières en pays chauds, des installations analogues réalisées souvent avec ingéniosité par les moyens du bord. Toutes ont donné entière satisfaction et ont contribué, pour une très large part, au maintien de la santé physique et morale des hommes qui éprouvent, après leur quart en atmosphère surchauffée, alors qu'ils sont imprégnés d'huile et de pétrole, le besoin bien compréhensible d'une douche fraîche et

(1) D^r LE GAC. Rapport médical de croisière. (*Archives de Médecine Navale* 1936, page 57.)

reposante. Aussi ces réalisations méritent-elles d'être généralisées, non seulement en pays chauds, mais même en France pendant l'été.

BAIGNADES. — Elles sont possibles le long du bord lorsque le temps le permet. Toutefois il est préférable de s'éloigner un peu du bâtiment afin d'éviter les nappes d'huile ou de gaz oil, cause parfois de conjonctivites et même d'otites dont plusieurs cas ont été signalés.

COIFFEUR. — Ce rôle est rempli, le plus souvent, par des volontaires. Les tondeuses, peignes, rasoirs, ciseaux, leur sont fournis par le règlement d'armement. La désinfection est sommaire, le flambage à l'alcool étant interdit à cause du danger qu'il présente à l'intérieur du bord. Elle pourrait être assurée par une bouilloire électrique qui permettrait, le cas échéant, la désinfection du matériel de l'infirmerie.

6° LAVAGE DU LINGE

Le lavage du linge rencontre les mêmes difficultés que la propreté corporelle ; elles se résument dans la nécessité d'économiser l'eau douce. Le manque de place pour le séchage vient encore aggraver la situation.

Lorsque les conditions de navigation et le temps le permettent, le linge est blanchi sur le pont à l'eau de mer le plus souvent et en utilisant le savon spécial dont nous avons parlé plus haut. On installe parfois des cuves pour faciliter le travail.

Le séchage, pratique sur le pont au mouillage et en pays chauds, devient très difficile sous les climats froids et humides. En périodes d'exercices et en temps de guerre où les plongées sont fréquentes, il faut étendre le linge dans les postes, ce qui accroît l'encombrement et augmente encore l'humidité. Aussi beaucoup de matelots négligent-ils le blanchissage devant les difficultés qu'ils rencontrent : ils se contentent d'entasser le linge sale, souvent imprégné d'huile, dans leurs étroits caissons : on en connaît les conséquences.

Pour remédier à cet état de choses, il y aurait lieu, croyons-nous, de prévoir une organisation spéciale pour le lavage. En Escadre, il ne serait peut-être pas impossible de le faire assurer par un bâtiment ravitailleur, ou par n'importe quelle unité, pourvu de lessiveuses mécaniques. Au mouillage, il devrait être possible, comme cela s'est fait à Dakar et à Fort-de-France, de donner accès aux lavoirs à terre à des corvées qui assureraient, en permanence, le lavage du linge.

7° LUTTE CONTRE LES RATS

On connaît l'étendue des ravages que les rats faisaient dans l'ancienne Marine, où ils constituaient un véritable fléau. Des procédés sans nombre avaient été expérimentés pour s'en débarrasser, mais ils revenaient sans cesse et se multipliaient avec une rapidité désespérante, transportant la peste, le typhus bénin et le sodoku (1).

(1) La spirochétose ictéro-hémorragique n'a pas été signalée à bord.

Malgré tous les perfectionnements et les soins apportés dans la construction, il y a encore des rats sur les bâtiments modernes ; les sous-marins, en particulier, n'en sont pas exempts. Nous avons personnellement constaté deux cas de morsures à bord pendant la nuit : l'une à l'oreille, l'autre à la joue.

Pour combattre leur pullulation, différents moyens ont été préconisés. Il faut essentiellement supprimer tous les recoins où ils peuvent séjourner et nicher. Toutes les ouvertures de conduits de ventilation doivent être munies de grillages. La bonne tenue des locaux : postes divers, cuisine, cambuse, est une des meilleures protection. Le pain et les différentes denrées alimentaires doivent être mis à l'abri, les miettes et détritrus rejetés avec soin : si l'animal ne peut trouver 25 à 30 grammes de nourriture par jour, sa croissance et sa reproduction deviennent impossibles. L'ensemble de ces moyens constitue le « rat-proofing » prévu dès la construction des navires modernes.

On a expérimenté sur des sous-marins anglais un curieux moyen de destruction : l'obscurité avait été faite dans tout le bord, sauf aux postes avant et arrière où de puissants projecteurs avaient été disposés. Attirés par la lumière, les rats s'étaient groupés, une dépression de 20 mm. créée par la mise en marche des compresseurs a suffi pour les exterminer.

La dératisation des sous-marins, prévue par les règlements internationaux, se fait à l'aide des vapeurs d'anhydride sulfureux répandues par les appareils MAROT et CLAYTON et surtout par le S.I.C. du Midi. Ce dernier procédé consiste à projeter, dans les locaux à

traiter, 40 gr. de SO^2 liquide par mètre cube au moyen d'un pulvérisateur-détendeur spécial.

L'anhydride sulfureux a l'inconvénient d'altérer les surfaces métalliques, aussi faut-il préalablement recouvrir ces dernières de graisse. Moyennant cette précaution, la dératisation à bord des sous-marins peut être effectuée sans inconvénient pour le matériel (D^r QUERANGAL DES ESSARTS).

Dans les pays à endémie pesteuse (A.O.F., Dakar par exemple) il est possible d'interdire aux rats l'accès des bâtiments : il suffit de disposer des disques pare-rats sur les aussières et, pendant la nuit, d'éclairer vivement les coupées badigeonnées en blanc.

8° NUISANCES

ORDURES MÉNAGÈRES. — Sur certains sous-marins, les eaux de vaisselle et de toilette se déversent dans un collecteur aboutissant à une caisse placée dans le compartiment du groupe électrogène à tribord avant. Cette caisse, d'une contenance de 350 litres environ sur les bâtiments de 1500 tonnes, est vidée chaque jour à la mer par une pompe d'épuisement. Sur d'autres unités, ces eaux s'évacuent plus simplement par un sas. Généralement, l'eau du lavabo de l'équipage au poste arrière se rend dans le sas de la « bouteille » correspondante.

En cas d'obstruction accidentelle des tuyaux d'évacuation, des robinets d'isolement permettent une chasse d'air comprimé à 10 kilogs.

Les ordures d'origines diverses : déchets alimentaires,

résidus de balayage, papiers, vieux chiffons, etc., sont recueillies dans des poubelles de fortune puis jetées à la mer ; souvent ces poubelles sont renversées au moindre roulis et sont une cause supplémentaire de souillure. Il conviendrait de placer des caisses à ordures dans chaque poste et d'assurer une propreté méticuleuse de tous les recoins plus ou moins inaccessibles.

LIEUX D'AISANCES. — Appelés bouteilles ou poulaines, ils sont généralement au nombre de trois à l'intérieur du bâtiment, deux seulement sur les sous-marins de faible tonnage. Sur les unités de 1500 tonnes, l'avant tribord du poste des maîtres compte deux « bouteilles » :

l'une pour l'équipage et les officiers-mariniers, avec cuvette à la turque ;

l'autre réservée aux officiers, avec cuvette en faïence et siège à l'anglaise.

Une troisième « bouteille » destinée à l'équipage se trouve au poste arrière.

Le parquet est constitué par un carrelage sur lit de ciment.

Les lieux d'aisances doivent pouvoir être utilisés en plongée et vidés à n'importe quelle profondeur. Le mode d'évacuation doit, par conséquent, présenter la plus grande sécurité. Le système autrefois en usage, du type CLOÎTRE, consistait en une pompe aspirant l'eau de mer et effectuant, après lavage de la « bouteille », le refoulement à l'extérieur. Depuis quelques années, la vidange du type « bouteille à sas » est adoptée sur la plupart des sous-marins. On appelle sas, dans ce cas particulier, un réservoir de quelques centaines de litres placé au-dessous

de la cale et muni de deux vannes : l'une le mettant en communication avec la cuvette, l'autre avec la mer. Normalement, la vanne supérieure est ouverte et les nuisances s'accumulent dans le sas ; la vidange se fait en fermant la vanne supérieure et en ouvrant la vanne inférieure qui établit la communication avec la mer. Une pompe permet le nettoyage complet du sas ; lorsqu'il est propre, il est isolé à nouveau de la mer et les pompes le vident. Sur certains bâtiments, on utilise une chasse à l'air comprimé pris sur le collecteur à 12 kilogs.

Ces dispositifs ont l'avantage de ne nécessiter que des manœuvres intermittentes, les hommes qui utilisent la « bouteille » n'ayant pas à toucher à la vanne inférieure, mais seulement à manœuvrer la tapé supérieure. Des mesures de sécurité sont d'ailleurs prises pour empêcher l'ouverture simultanée des deux orifices du sas, encore est-il prescrit au personnel de ne jeter aucun résidu solide qui puisse nuire à la fermeture complète des vannes.

Malgré la simplicité de cette réalisation, quelques critiques sont à formuler : la capacité du sas est insuffisante et l'étanchéité des vannes parfois imparfaite. Aussi malgré une vidange quotidienne, des odeurs nauséabondes se dégagent rendant fort désagréable parfois le séjour au poste des maîtres, voisin des « bouteilles » avant. On a proposé une vidange individuelle avec évacuation immédiate à la mer, mais il faudrait un dispositif simple, de préférence électrique, ne nécessitant qu'un minimum de manœuvres.

Rappelons que les « bouteilles » sont disposées en salles de douches rarement utilisées.

A l'extérieur est installée une « bouteille de surface »

comprenant une cuvette à la turque avec évacuation à la mer à travers les ballasts.

Des désinfectants et désodorisants sont prévus, surtout en pays tropicaux où les diarrhées sont fréquentes. La désinfection est assurée par une solution de chlorure de chaux à 5 % qui présente l'inconvénient d'attaquer le métal des vannes, ou bien par du crésyl ou un produit dérivé. La désodorisation se fait habituellement au sulfate de fer. Peut-être y aurait-il avantage à renforcer la ventilation de l'atmosphère des « bouteilles » qui pourraient être mises en légère dépression afin d'éviter le refoulement des mauvaises odeurs dans le bord.

CHAPITRE III

ALIMENTATION

Au point de vue alimentaire, l'hygiène sous-marine présente des particularités fort intéressantes. La nécessité de vivre sur un bâtiment de dimensions restreintes, et qui doit parfois entreprendre de longues croisières sans se ravitailler, impose un choix très spécial d'aliments.

Depuis longtemps, les hygiénistes se sont préoccupés de cette importante question ; de grands progrès ont été réalisés, ils ne sont pas encore suffisants, mais la largeur de vues qui préside à l'approvisionnement des sous-marins permet d'effectuer d'incessantes et heureuses innovations.

1^o VIVRES

BASES DE L'APPROVISIONNEMENT. — L'approvisionnement varie suivant les circonstances :

Au mouillage, à la base, le personnel est nourri par la « Station » ; il prend donc ses repas à terre ; nous reviendrons sur ce point.

A la mer, la question se complique et l'approvisionnement doit tenir compte, non seulement de l'effectif, mais de la durée de la croisière et surtout des conditions tout à fait spéciales à la vie sous-marine. Nous allons examiner les règles qui président au mode de distribution des vivres.

Lorsqu'un sous-marin est appelé à faire, hors de sa base, une sortie supérieure à trois jours, il règle son alimentation de la manière suivante :

a) Les deux premiers jours, consommation de vivres frais d'usage courant.

b) Le 3^e jour et les jours suivants, consommation de vivres spéciaux dits « de croisière ».

c) Conservation intacte d'un stock de vivres dits de secours ou de prévoyance, embarqué en permanence dès le temps de paix pour être utilisé en cas de besoin.

d) Si, au cours de la croisière, le bâtiment peut se ravitailler, il a toute liberté pour consommer les vivres frais qu'il peut se procurer dans les escales.

VIVRES FRAIS. — Ils sont consommés à terre, au mouillage et pendant les deux premiers jours de croisière. Certaines questions d'ordre économique président à leur approvisionnement.

On appelle « ration » la somme journalière allouée pour la nourriture d'un homme au mouillage et à bord pendant les deux premiers jours de mer. Cette allocation varie suivant le prix des denrées et le grade du bénéficiaire. Elle est fixée tous les trois mois par la Préfecture Maritime, d'après les prix locaux. Au 1^{er} février 1939, la ration d'un matelot embarqué à bord d'un sous-marin

était de 8 fr. 18 et comportait, en plus, une prime fixe de 1 fr. 70, pour les bâtiments se trouvant en 1^{re} zone, c'est-à-dire dans les eaux territoriales et en pays limitrophes ou colonies proches (Algérie, Tunisie). Si les bâtiments pénètrent en 2^e zone (côtes du Maroc, pays étrangers, colonies lointaines) la prime fixe est doublée. Cette prime sert à acheter des suppléments (hors-d'œuvre et desserts).

A cette ration journalière du matelot, prise comme base, s'ajoutent des coefficients pour traitements de table (seconds-maîtres, maîtres et premiers-maîtres, officiers).

Le mode d'approvisionnement en vivres frais est donc très analogue à celui des bâtiments de surface : malheureusement, les moyens réduits des sous-marins et l'exiguïté de la cambuse restreignent la consommation de ces aliments au mouillage et aux deux premiers jours de mer. Si la croisière se prolonge, il est nécessaire de recourir au régime de conserves.

VIVRES « CARISSAN ». — Ainsi appelés du nom du sous-marin sur lequel fut inauguré le principe des « caisses-repas ». Ces vivres ont remplacé à bord des sous-marins les conserves de qualité souvent médiocre utilisées autrefois, jusqu'à la fin de la Guerre. Leur usage s'inspire des nécessités suivantes :

a) embarquer à bord la plus grande quantité de vivres sous un volume restreint ;

b) réduire au minimum les soins culinaires en faisant appel à des aliments préparés d'avance, capables d'être conservés longtemps ;

c) assurer une nourriture saine, abondante et suffisamment variée, sans risques de carence alimentaire.

Les vivres de croisière sont les mêmes sur toutes les tables (officiers, officiers-mariniers, équipages); contrairement à ce qui a lieu pour les vivres frais; la ration est uniforme et au compte de l'État : le prix de revient est, par homme et par jour, de 25 à 30 francs.

Les denrées sont fournies par le Service des Subsistances, elles doivent être obligatoirement consommées par le bord qui les a embarquées et ne sont en aucun cas reprises. Dans chaque Port est constituée une Commission des vivres de croisières, composée de représentants du Service des Subsistances, du Service de Santé, et d'officiers de Marine appartenant à l'escadrille des sous-marins basée au port. Cette Commission est chargée de surveiller les qualités et les quantités.

Composition des vivres « Carissan ». — Pendant les préparatifs de la croisière, le Commandant du bâtiment adresse au Service des Subsistances une feuille de menus : la plus grande latitude est ainsi laissée au Commandement qui peut proposer des produits nouveaux ; généralement satisfaction lui est donnée.

Les vivres dits de « 1^{re} catégorie » sont présentés en caisses-repas, comprenant toutes les denrées portées sur la feuille de menus. Chaque caisse contient les deux repas d'une journée pour tout l'équipage, porte le numéro du jour et le nombre d'hommes auxquels elle est destinée. Il existe sept caisses différentes contenant au total 14 menus variés.

Les vivres de « 2^e catégorie » sont renfermés dans des

caisses « hors-repas » et comprennent des produits divers : assaisonnements, épices, thé, café, sucre, sel, beurre, graisse, huile, vinaigre, jus de citron, pâtes, etc... Ces denrées sont emmagasinées en cambuse dans des récipients en fer blanc qui leur assurent une bonne protection contre l'humidité et contre les rats.

Les repas sont composés ainsi :

Petit déjeuner	Déjeuner	Dîner
—	—	—
Café	Potage	Potage
	Hors-d'œuvre ou	Viande
	Entrée	Légume
	Viande	Dessert
	Légume	Thé au rhum.
	Dessert	
	Café.	

Une liste des menus établis pour toute la croisière est remise au bâtiment en même temps que les vivres, elle indique les quantités à consommer à chaque repas. L'ordre de cette liste doit être scrupuleusement suivi et l'on ne peut y déroger qu'en cas de force majeure que le Commandant doit consigner au procès-verbal de consommation.

L'emploi prolongé des conserves appelle un certain nombre d'exigences définies par la Commission d'Etude Pratique des Sous-Marins : « Les conserves seront toutes de première qualité, de fabrication la plus récente et de marques connues pour la bonne préparation et la bonne présentation des produits ».

« La date de fabrication doit être marquée sur les
« boîtes ; autant que possible les étiquettes y seront
« imprimées, elles pourront être soudées sur la boîte ».

« La contenance des boîtes devra être telle qu'une
« boîte ouverte soit toujours consommée en entier pour
« un repas ».

A titre d'exemple, nous donnons un aperçu de quelques
menus du Xb..., avec indication des quantités allouées
par homme :

DÉJEUNER		DINER	
5 AVRIL			
Viandox	1 tube	Liebig.....	15 gr.
Tapioca.....	30 gr.	Tapioca.....	30 gr.
Pâté de foie.....	50 gr.	Porc rôti	130 gr.
Veau à l'oseille ..	140 gr.	Frites desséchées	200 gr.
Riz au lait ou au gras	60 gr.	Fromage de Hollande.....	50 gr.
Confiture de pommes	50 gr.		
6 AVRIL			
Viandox nature	1 tube	Potage lentilles	40 gr.
Thon à l'huile	40 gr.	Veau à la gelée	130 gr.
Tripes à la mode de Caen ..	150 gr.	Macaroni au fromage	80 gr.
Cassoulet	150 gr.	Confiture d'abricots	80 gr.
Pruneaux.....	70 gr.		
7 AVRIL			
Poule au pot	1 tube	Potage purée de pois cassés ..	40 gr.
Pâtes à potages	30 gr.	Maquereaux vin blanc	50 gr.
Filets de hareng à l'huile...	40 gr.	Cassoulet	150 gr.
Endaubage	130 gr.	Fromage de Hollande.....	50 gr.
Flageolets	80 gr.		
Figues	80 gr.		

La question des vitamines. — Avec un régime presque
exclusivement composé de conserves on peut redouter
les avitaminoses ou tout au moins des états de pré-
caréance. On n'ignore pas quels ravages ces affections ont
causés autrefois et quelles entraves elles étaient pour

les longues croisières. Actuellement, en temps de guerre, on pourrait les voir repaître sur les sous-marins que des nécessités militaires obligeraient à passer plusieurs semaines en mer : pendant la Guerre de 1914, certains sous-marins allemands sont restés jusqu'à 90 jours en croisière sans escale.

Aussi a-t-on prévu des mesures pour la prophylaxie systématique des maladies par carence. Il y a une dizaine d'années, chaque homme recevait quotidiennement un centilitre d'essence de zeste de citron : ce produit avait l'inconvénient d'être peu apprécié de l'effectif et de déterminer un effet laxatif intempestif ; de plus, le Conseil de Santé lui a reconnu un pouvoir antiscorbutique médiocre : il a été abandonné.

Des citrons frais pour une durée de 8 jours sont aujourd'hui délivrés. Si la croisière se prolonge on consomme des jus de citron qui ont souvent des propriétés très variables, parfois nulles. Aussi fait-on appel au procédé de concentration à froid dans le vide sulfurique (méthode de BASSETT-SMITH) qui donne toute satisfaction. Ce procédé permet de conserver l'acidité du fruit indispensable aux propriétés recherchées : on sait, en effet, que la vitamine C (1) ne s'épuise qu'en milieu alcalin par oxydation, d'où la nécessité d'utiliser des citrons acides méditerranéens et non des citrons doux, tels que limons dont les propriétés antiscorbutiques sont quatre fois moindres que celles des citrons acides ;

(1) La vitamine C, produit hydrosoluble, est antiscorbutique. Des diverses maladies par carence, le scorbut est l'affection qui est le plus à craindre par manque de vivres frais.

encore faut-il qu'au cours de la préparation la température n'ait pas atteint 100°. Voici le mode de préparation utilisée par la Pharmacie Centrale de France : les fruits sont pressés, le jus est ensuite évaporé à froid dans le vide en présence d'acide sulfurique ; il se produit une masse sirupeuse qu'on additionne de 10 % d'alcool ou qu'on transforme en tablettes après incorporation de lactose. La conservation du produit est confiée à des bouteilles hermétiquement closes tenues à l'abri de la lumière dans un local frais, loin des machines (MACKLIN et HUSSEY : « The Lancet », 13 août 1921). Malgré les garanties que présente ce procédé, il convient de vérifier la teneur en acide ascorbique par la méthode spectrophotométrique (1). La quantité journalière nécessaire à chaque homme correspond au produit de l'expression d'un demi citron, soit 25 à 30 grammes de jus.

Outre le jus de citron, divers produits ont été proposés pour combattre les risques d'avitaminose : BEZSSONOF (Académie de Médecine, octobre 1922) a préconisé un jus de choux concentré sous le nom de produit C qui serait aussi efficace et meilleur marché que le jus de citron.

Les vivres de conserve, eux-mêmes, peuvent fournir des denrées assez riches en vitamines. Ainsi la tomate contient beaucoup de vitamines A, B et surtout C : elle entre dans les menus « Carissan » sous forme de pulpe ou de purée concentrée. Le procédé MARRE, qui consiste en une action simultanée du vide et d'une chaleur

(1) Méthode basée sur le pouvoir réducteur de l'acide ascorbique vis-à-vis de différentes matières colorantes.

modérée, permet de conserver à la fois la couleur, le goût et les vitamines de la tomate. Il serait intéressant de développer la consommation de ce produit qui a, sur le jus de citron, l'avantage d'être un assaisonnement des conserves, qualité qui est loin d'être négligeable pour des aliments trop souvent fades. Encore faut-il éviter de soumettre cette pulpe à une chaleur élevée, destructrice des vitamines.

Signalons que les confitures acides (gelées de groseilles et d'abricots), ainsi que le miel, possèdent des propriétés antiscorbutiques fort appréciables.

Malgré les précautions prises, il semble que l'apport de vitamines C soit parfois insuffisant : une partie de l'acide ascorbique ingéré est éliminé par la transpiration profuse ; on s'est demandé s'il n'y aurait pas indication à administrer aux mécaniciens et électriciens une certaine quantité de ce produit par voie buccale : 0 g. 10 à 0 gr. 50 par jour (Pharmacien-chimiste principal AUDIFFREN) (1).

Si le scorbut est surtout à craindre, il faut aussi se soucier des autres carences et les éviter. La vitamine A est parfois insuffisante malgré la consommation de beurre salé et de conserves huileuses de poisson qui la contiennent en quantités inconstantes. Certaines infections particulièrement fréquentes et tenaces sur les sous-marins en croisière : furonculose, dermatites diverses, plaies infectées, otites, peuvent, semble-t-il, être rattachées à une précarie en vitamine A. Certains troubles

(1) Ph.-Chim. Pal AUDIFFREN. Les vitamines dans la Marine. Leçon inaugurale à l'Ecole d'Application de Toulon, 9 janvier 1939.

graves pourraient même se déclancher brusquement chez des individus en état d'équilibre instable du fait d'une précarence plus ou moins accentuée (xerophthalmie, infections suraiguës).

Les vitamines B sont fournies par les citrons, jus de citron et lait concentré ; les vitamines D par les sardines et thons à l'huile. Le séjour en sous-marin, dans une atmosphère confinée, à l'abri de la lumière solaire, peut accentuer les troubles dus à la pauvreté en vitamines D.

Comme on le voit, les risques d'avitaminoses subsistent à bord des sous-marins. Ils ont été très atténués par les progrès réalisés dans un emploi judicieux de conserves bien préparées et variées et par l'utilisation des frigidaire. On a même proposé d'enrichir l'alimentation en vitamines, mais on pénètre alors sur un terrain singulièrement délicat que des travaux en cours débayeront sans doute fort heureusement ; les hypervitaminoses A et D sont à considérer. Il en résulte que les vitamines doivent être maniées avec prudence si l'on ne veut passer à la légère d'un mal dans un autre.

Considérations diverses. Conclusions. — Malgré leurs qualités, les vivres « Carissan » sont moins appréciés de l'équipage que les aliments frais, surtout lorsque les circonstances obligent à en prolonger la consommation. On leur reproche d'être souvent fades et sans arôme et même de provoquer, au bout de quelques jours, un véritable dégoût alimentaire. En outre, ils semblent accentuer la constipation chez les hommes privés d'exercice. Ils ont, d'autre part, une valeur nutritive inférieure à celle des vivres frais. Aussi est-il indispensable de parer

à ces inconvénients si l'on veut rendre ce mode d'alimentation non seulement tolérable, mais surtout substantiel, pour des hommes soumis à des efforts constants en atmosphère débilitante. Il faut dès lors :

a) Assurer une grande variété dans les menus car on se lasse vite des meilleurs aliments s'ils reviennent trop souvent ;

b) Faire un choix copieux de légumes et de fruits : les confitures, compotes, fruits au jus, macédoines ont toujours la faveur de l'équipage ; ce sont des aliments rafraîchissants, nutritifs par le sucre qu'ils contiennent, suffisamment riches en cellulose pour aider à la régularité du transit intestinal ;

c) Il convient en outre de soumettre les vues théoriques au goût général de l'effectif. C'est la raison pour laquelle on laisse au Commandement une latitude très grande dans le choix et la composition des menus. Il est remarquable de constater que des aliments assez inattendus en pays chauds, sont forts prisés des équipages : cassoulet, choucroute. Les crustacés, avec assaisonnement un peu relevé, sont également très bien accueillis. Par contre la viande perd « en conserve » beaucoup de ses qualités gustatives (veau, lapin, côtelettes de porc, poulet à la gelée) ;

d) Enfin on doit veiller à la quantité : plusieurs rapports de fin de croisière signalent un menu insuffisant au repas du soir. Même sous un climat torride, les jeunes matelots fournissent un gros effort et conservent un excellent appétit. Sur certains bâtiments on a eu l'heureuse idée de servir une légère collation à la

fin des quarts de nuit : pain et beurre, potage ou consommé ; cette mesure a généralement été fort appréciée.

VIVRES DE SECOURS OU DE PRÉVOYANCE. — Chaque sous-marin conserve à bord un stock d'au moins 3 jours de vivres de secours sans vin. Ces vivres sont embarqués en permanence, dès le temps de paix, et destinés à être consommés si des circonstances imprévues (nécessités militaires ou accidents de navigation) obligent à prolonger le séjour en mer.

PAIN. — Les deux premiers jours on consomme du pain frais embarqué au départ, à raison de 750 grammes par jour et par homme. Du 3^{me} au 6^{me} jour inclus, on utilise du pain biscuité à raison de 500 grammes : c'est du pain ordinaire, pétri en pâte dure, à mie serrée. Fabriqué au moule, il se présente en parallélépipèdes de 1 kgr. 500 contenus dans des sacs en toile. Une seconde cuisson lui assure une conservation de 8 à 10 jours : passé ce délai il se couvre de moisissures dans l'atmosphère chaude et humide du sous-marin.

A partir du 7^{me} jour on fait appel au pain de guerre et au pain CARNAUD.

Le pain de guerre se présente sous forme de petits biscuits rectangulaires pesant 10 grammes. Certaines spécialités sont conservées en boîtes soudées.

Le pain CARNAUD ou pain de conserve est fabriqué avec une farine de choix ; il subit une stérilisation d'un quart d'heure au four. C'est une sorte de pain bis, assez compact, avec une croûte mince, dont la conservation

est assurée par une boîte ronde métallique ayant servi à la stérilisation et qui est ensuite hermétiquement close et soudée. Si l'étanchéité des boîtes n'est pas absolue, des moisissures se développent : aussi faut-il vérifier avec soin l'état des soudures au moment de la réception. Souvent des boîtes avariées ont dû être rejetées à la mer. Le pain CARNAUD peut être consommé tel qu'il se présente : il est ainsi peu prisé des équipages qui l'utilisent sans préparation ; il devient beaucoup plus appétissant lorsqu'on peut le chauffer légèrement au four après l'avoir humecté d'eau salée, ce qui le fait gonfler en le rendant plus léger et plus tendre (1).

Quelques sous-marins munis d'un four électrique peuvent fabriquer leur pain : toutefois, il faut utiliser une levure de grains dont la conservation en chambre froide est assurée pour un mois, ou bien une levure sèche en boîtes métalliques étanches. On peut aussi employer le « baking powder », produit à base de bicarbonate de soude destiné à remplacer la levure. La conservation de la farine est généralement facile à bord (boîtes métalliques soudées) et le pain frais fabriqué à l'eau de mer donne entière satisfaction.

VIN ET PRODUITS DIVERS. — *Vin.* — Pour les croisières de plus de cinq jours, le vin doit avoir 12° (ou à défaut 11°) : il doit toujours être naturel. Le degré en aucun cas ne peut être augmenté par addition d'al-

(1) Le pain CARNAUD peut se conserver de six mois à un an. Certaines boîtes examinées au bout de trois ans étaient encore en bon état (D^r QUÉRANGAL DES ESSARTS.)

cool, mais il doit être assez élevé pour assurer une bonne conservation du vin. Certaines Marines étrangères ont supprimé le vin. En France, la ration journalière est de cinquante centilitres avec 1/10 en sus pour les délivrances supplémentaires (vin chaud, « doubles », etc...). Le vin est généralement logé à la cambuse, soit dans des fûts en bois (à abandonner), soit dans des caisses métalliques parallélépipédiques de 40 litres émaillées à la braunite ; mais le meilleur procédé, inauguré sur les bâtiments du type *Dauphin*, est celui des caisses en acier vitrifié de 400 litres. Ce dernier mode de conservation tend à se généraliser. Les sous-marins de 2^e classe reçoivent habituellement quatorze caisses de 40 litres, les « 1.500 tonnes » deux fûts vitrifiés de 400 litres et dix caisses de 40 litres. Le *Surcouf* peut emporter 5.600 litres de vin. Des caisses en acier inoxydable pour le vin et l'eau sont en essai sur certains bâtiments ; elles semblent donner d'excellents résultats.

Lait. — On consomme à bord des sous-marins du lait concentré en boîtes.

Il existe pour les équipages une prime de lait journalière dont le taux varie tous les trois mois. Elle était de 0 fr. 63 au 1^{er} février 1939. Cette prime est allouée en toutes circonstances : au bassin, au mouillage et à la mer.

Dans la pratique, elle est souvent utilisée à l'achat d'une quantité supplémentaire de vin donnée comme « double » après les corvées ou travaux pénibles.

Tafia. — Il en est délivré quotidiennement 2 centilitres par homme dans du thé pendant la période de con-

sommutation des vivres de croisière. Cette quantité est portée à 3 centilitres lorsqu'il est fait usage des vivres de secours.

2^o EAU DE BOISSON

Elle a deux origines :

Eau douce embarquée avant l'appareillage,
habituellement seule utilisée pour la boisson ;

Eau de mer distillée à bord.

APPROVISIONNEMENT D'EAU DOUCE. — L'eau douce sert à la fois à la boisson, à la cuisine et au lavage : son approvisionnement se fait soit à quai, soit en rade, par l'intermédiaire de bateaux-citernes ou burettes accossant le bâtiment. Le ravitaillement est calculé sur la base quotidienne de 5 à 6 litres par homme pour une croisière de 30 jours. On n'embarque généralement, si les conditions sont favorables, que de l'eau épurée (1). Aux Colonies et dans les escales étrangères, l'eau est javellisée à son arrivée à bord.

CONSERVATION. — CAISSES A EAU. — L'eau douce est logée dans des caisses en tôle cimentées intérieurement et munies d'un trou de vidange, d'une prise d'air, d'une porte de visite, et parfois d'un indicateur de niveau. La disposition des caisses ne permet pas toujours l'établissement de ce tube dont l'office est parfois remplacé,

(1) Dans les ports de guerre, l'eau délivrée aux bâtiments est de l'eau épurée et d'excellente qualité provenant des installations appartenant à la Marine.

en dépit des règlements, par une règle graduée introduite par un trou de sonde à tape vissable : on conçoit quels dangers de souillure offre un pareil procédé de vérification, s'il n'est employé avec une propreté méticuleuse.

Une tape permet le remplissage des caisses par l'extérieur. Le tuyau d'aspiration débouche à une certaine distance du fond, afin d'éviter l'aspiration des dépôts, aussi la vidange complète est-elle difficile. Il y aurait lieu de prévoir un robinet à la partie déclive et même une chasse, à la cale, des résidus et débris (ciment et rouille) qui s'accumulent dans le fond.

L'emplacement des caisses est variable : sous les parquets, sur les ballasts ou même sur les superstructures, mais le plus souvent dans la cambuse. Les sous-marins de 1.500 tonnes possèdent généralement trois grandes caisses et parfois des réservoirs accessoires dont la disposition et le volume varient suivant le type du bâtiment : leur contenance totale est d'environ 10 tonnes d'eau douce.

DISTRIBUTION. — *Collecteur.* — Un collecteur général court de l'avant à l'arrière du bâtiment. Indépendant de tout autre tuyautage et peint différemment (bleu en général), il met en communication les différentes caisses d'eau douce et sert aussi de collecteur de remplissage. Des pompes « Japy » sont placées sur divers sectionnements pour le remplissage des caisses de relais, réservoirs de cuisines, lavabos et souillardes.

Caisses de relais. — Situées au niveau des postes d'équipage avant et arrière, ces caisses ont habituellement

une contenance de 200 litres. Elles alimentent les fontaines et accessoirement le lavabo de l'équipage. Leur rôle est de limiter et de régler la consommation journalière d'eau.

Certains types de sous-marins possèdent un château d'eau placé dans les superstructures : il alimente la cuisine de surface.

Fontaines d'équipage. — Sur les sous-marins, elles sont placées aux postes avant et arrière. Ce sont des réservoirs d'une contenance de 25 litres, en cuivre étamé intérieurement et fermés par un couvercle cadenassé. Ils sont pourvus d'un robinet de vidange, d'un tuyau de prise d'air avec filtre d'ouate et d'un réservoir intérieur à glace.

SURVEILLANCE ET STÉRILISATION DE L'EAU DOUCE. — Une telle installation offre pour la bonne conservation de l'eau des garanties indubitables. En outre, des analyses de contrôle sont faites, périodiquement dans les laboratoires des ports de guerre, sur des échantillons prélevés aux fontaines et aux caisses.

Si l'eau est douteuse ou si l'on n'a aucune possibilité de contrôle bactériologique (au cours d'une croisière par exemple), on doit obligatoirement effectuer la stérilisation chimique par javellisation ou verdunisation à l'extrait de javel de titre connu. Signalons toutefois la difficulté qu'il y a à javelliser une caisse déterminée ; le système de tuyautage ne permet pas toujours d'avoir l'assurance que la dose d'extrait de Javel arrive bien à la caisse à laquelle on la destine. L'adaptation sur la

prise extérieure d'eau d'un appareil de verdunisation qui assurerait une stérilisation automatique et régulière a été envisagée (1).

Grâce à la surveillance et aux moyens de purification, les sous-marins, comme tous les autres bâtiments de guerre, sont pourvus d'une eau d'excellente qualité. Depuis de nombreuses années, malgré de fréquentes escales coloniales, on n'a enregistré aucun cas d'affection hydrique.

EAU DISTILLÉE. — Elle remplace l'eau douce naturelle en cas de nécessité. Les appareils distillatoires ont pour but de dessaler l'eau de mer en la soumettant à la distillation ; ils sont constitués par deux bouilleurs disposés sur l'échappement des moteurs Diesel et comprennent un faisceau tubulaire à travers lequel passent les gaz d'échappement se rendant au silencieux, un condenseur et une caisse-relai. Les bouilleurs sont de petites chaudières munies de niveau, soupape de sûreté, soupape d'alimentation et d'extraction (2). L'alimentation se fait par une pompe électrique aspirant dans la circulation des Diesels ; une pompe à bras, de secours, est prévue. Une caisse-relai reçoit l'eau vaporisée : on peut alors contrôler l'absence de sel au salinomètre ou au goût : l'eau douce est dirigée vers les caisses où elle est stockée.

(1) Ces appareils ont été essayés sur les bâtiments de surface mais, par suite du roulis, ils n'ont donné que des résultats médiocres ; il en serait probablement de même à bord des sous-marins.

(2) Les bouilleurs de modèles récents sont électriques.

L'eau vaporisée des deux bouilleurs principaux peut se rendre dans un bouilleur secondaire : elle y subit une nouvelle distillation et se déverse dans une caisse spéciale en laiton de 50 litres par des tuyautages exempts de fer : cette eau bi-distillée est destinée à refaire le niveau des accumulateurs.

Le rendement des bouilleurs est faible ; sur les bâtiments de 1.500 tonnes, leur débit est d'environ 40 litres à l'heure lorsque les Diésels tournent à 275 tours ; mais aux allures ordinaires (220-230 tours) il s'abaisse à 4 litres. Aussi, l'eau distillée est-elle réservée aux accumulateurs dans la grande majorité des cas.

Le collecteur d'eau distillée est spécial, il longe celui d'eau douce.

3^o LOGEMENT DES VIVRES

INSTALLATIONS FRIGORIFIQUES ET CULINAIRES

CAMBUSE. — C'est, en terme marin, le magasin où sont renfermés les vivres et denrées diverses. Sur les sous-marins, le patron a la charge de ce local et remplit les fonctions de commis.

La ration quotidienne et individuelle, à l'exclusion du vin et de l'eau, pèse environ 2 kg. 750, sous un volume de 6 à 9 décimètres cubes. L'espace destiné à loger les vivres est calculé pour 30 jours de croisière environ ; aussi, le volume de la cambuse atteint-il 20 m. cubes sur les « 1.500 tonnes », capacité insuffi-

sante en temps de guerre. Pour éviter l'encombrement, on est parfois obligé de loger un certain nombre de caisses-repas dans la cale avant. La plupart des rapports de croisière soulignent cette exiguité de la cambuse et souhaitent, dans les constructions futures, un local plus vaste.

La cambuse est située dans la partie centrale du bâtiment, contre la cloison résistante avant, sous le poste des maîtres. Sur les anciens sous-marins type *Maurice-Callot*, elle se trouvait sous les moteurs électriques et avait le grave inconvénient d'être très chaude et humide. La situation actuelle est préférable, mais une grande humidité subsiste, entretenue par le voisinage de la cale avant et des caisses à eau, humidité préjudiciable à la conservation de certaines denrées (pain frais et biscuité, lentilles, pâtes, etc...). On peut y pallier par une ventilation énergique et bien réalisée : il faudrait placer les tapes de refoulement et d'aspiration, non dans les recoins où l'encombrement du matériel les obture, mais au centre du local. Le Dr DUPAS a proposé avec juste raison l'installation sur l'aspiration d'air vicié de boîtes desséchantes à base de chlorure ou de silicate de calcium.

INSTALLATIONS FRIGORIFIQUES. — La plupart des sous-marins possèdent actuellement un frigorigène. Les bâtiments de 2^{me} classe ont une petite machine frigorifique de 300 à 600 frigories-heures.

Sur les sous-marins de 1^{re} classe, sont installés deux buffets-réfrigérants capables de donner 300 frigories-heures, sous l'action d'appareils rotatifs AUDIFFREN-

SINGRÜN ; ils sont disposés en avant de la cambuse et peuvent fournir 2 mouleaux de glace de 2 kg. toutes les quatre heures. Ce débit, malheureusement trop faible en pays chauds, suffit à peine à rafraîchir le vin et une petite quantité d'eau de boisson. A ce frigorigène, est annexée une chambre froide qui permet la conservation des denrées périssables de consommation courante. Ces installations, indispensables en pays tropicaux, sont insuffisantes ; les fontaines d'équipage ne pouvant bénéficier de la réfrigération sans laquelle l'eau s'altère rapidement, on est conduit à s'approvisionner en glace à chaque escale.

Sur le *Surcouf*, une installation frigorifique récente, très complète, a donné entière satisfaction. Elle comprend :

- une chambre froide ;
- une chambre de décongélation ;
- un réfrigérant d'eau de boisson.

La *chambre froide*, d'un volume de 3 m³ 500, peut contenir au maximum 1.000 kg. de viande congelée, débitée en morceaux-repas de 20 kg. environ, représentant la quantité consommée par l'effectif en 18 jours. Une circulation de saumure réfrigérée maintient la température entre — 5° et — 18° : le bon fonctionnement du frigorigène peut être surveillé à distance par un thermomètre. Un hygromètre à cheveu permet d'évaluer le degré hygrométrique, sans qu'il soit toutefois possible de le modifier.

La *chambre de décongélation* consiste en une armoire isolée à deux compartiments : chacun d'eux peut con-

tenir la quantité de viande nécessaire pour une journée. Avant utilisation, cette chambre est lavée à l'eau bouillante. La durée de décongélation varie suivant la température extérieure de 24 à 48 h. L'installation éventuelle d'un circuit réfrigérant permettrait de régler la vitesse de décongélation. Grâce à ce mode de conservation, une variété plus grande de menus peut être envisagée par la consommation alternée de viande conservée et de viande congelée, cette dernière très bien acceptée par l'équipage.

Le *réfrigérant d'eau de boisson* est constitué par une caisse d'une capacité de 280 litres située dans le compartiment des frigorifiques, calorifugée extérieurement et munie à l'intérieur d'un serpentín dans lequel circule une saumure réfrigérée. Un thermomètre à distance permet de maintenir la température entre $+8^{\circ}$ et $+10^{\circ}$. Ce dispositif présente, sur la glacière, plusieurs avantages : économie d'énergie, et surtout eau réfrigérée mise continuellement à la disposition de l'équipage à une température optimum.

Ces installations ont permis d'améliorer grandement les conditions de vie sur le *Surcouf* ; elles mériteraient d'être envisagées à bord des futurs sous-marins coloniaux.

CUISINES. — Il y en a habituellement deux à bord des sous-marins :

Cuisine de surface, chauffée au charbon ;

Cuisine électrique de plongée.

Cuisine de surface. — Analogue à celle des torpil-

leurs, elle est située à la partie arrière de la baignoire. On y accède directement du pont par un orifice bas et étroit, habituellement à tribord. Ce local très exigu comprend un fourneau à charbon en tôle, un four et une caisse à eau, parfois un fourneau chauffant au pétrole.

Pendant la plongée, cette cuisine est immergée ; elle ne possède d'ailleurs aucun dispositif d'étanchéité.

Normalement réservée pour le service au mouillage, la cuisine de surface est cependant fréquemment utilisée à la mer lorsque aucune alerte n'est prévue : elle rend, en effet, des services considérables malgré la malpropreté qu'elle entretient sur le pont : elle évite la chaleur et les mauvaises odeurs que répand à l'intérieur la cuisine de plongée.

Cuisine de plongée. — Située à l'arrière tribord du poste d'équipage avant, elle est commune à tout l'effectif. Elle est électrique, comprend un four, un certain nombre de poêles et de marmites autoclaves, une cafetière genre percolateur, et une ou deux cuves à laver la vaisselle. L'adoption des récipients autoclaves, obligatoire depuis quelques années, a chassé partiellement les odeurs et a permis de réduire la durée de cuisson et la dépense d'énergie électrique.

Sur les sous-marins actuels, les résistances électriques font corps avec les récipients munis de prises de courant ; cette disposition a l'inconvénient d'absorber beaucoup d'énergie électrique et de dégager une notable quantité de chaleur : aussi, la cuisine de plongée contribue-t-elle à échauffer d'une façon notable l'atmosphère intérieure.

Afin de réduire au minimum les odeurs, on doit s'abstenir de confectionner certains mets, en particulier les fritures doivent être prohibées ; l'usage d'aliments préparés à l'avance (Vivres « Carissan »), ne nécessitant qu'un simple chauffage, écourte les préparations culinaires et atténue les inconvénients de la cuisine en atmosphère confinée.

La cuisine de plongée est également une source d'humidité importante : il y aurait lieu de renforcer dans ce local l'aspiration d'air vicié, peut-être en augmentant le diamètre du tuyautage. Un dispositif réalisant l'aspiration directe de la vapeur d'eau pourrait aussi être étudié.

Le *Surcouf* est dépourvu de cuisine de surface, mais possède par contre deux cuisines intérieures (officiers, maîtres et équipage). Une boulangerie électrique comprenant un pétrin mécanique, un buffet pour recevoir et travailler la pâte et un four leur est annexée.

Cuisiniers. — L'importance de leur rôle mérite d'être soulignée ; ils doivent savoir préparer convenablement les conserves, le pain CARNAUD en particulier, reconnaître les boîtes avariées, tenir les cuisines dans un état de propreté méticuleuse. Leur travail est pénible et ingrat dans des locaux humides, surchauffés et d'espace restreint ; aussi, doit-on exiger d'eux une santé parfaite. Ils sont, en pays chauds, particulièrement exposés aux coups de chaleur : deux cas ont été relevés au cours d'une croisière récente. Pour toutes ces raisons, il faut embarquer au moins deux cuisiniers par bâtiment effectuant un voyage de longue durée.

Repas à bord. — A la mer, l'équipage prend ses repas dans les postes où des tables et bancs peuvent être disposés ; les officiers mangent au carré. Si le temps et l'état de la mer le permettent, les hommes sont autorisés à s'installer sur le pont.

Au mouillage, on peut disposer tables et bancs sur le pont, des tentes sont dressées en pays chauds. Les matelots se tiennent habituellement sur la plage arrière et les gradés à l'avant. Une table pliante peut être placée dans la baignoire pour les officiers.

TROISIÈME PARTIE

CONSÉQUENCES MÉDICALES DE LA VIE
A BORD DES SOUS-MARINS

Au cours des chapitres précédents, nous avons analysé longuement les conditions de vie à bord des sous-marins. Il convient maintenant d'étudier quelle peut être l'influence de ce milieu si particulier, et disons quelque peu anormal, sur la santé des hommes. Nous envisagerons successivement l'action des plongées sur l'organisme, les affections observées à bord et les ressources médico-chirurgicales dont on dispose pour les combattre. Enfin, nous verrons comment on peut éviter, dans une certaine mesure, les conséquences fâcheuses de la vie à bord par le séjour à terre, entre les croisières, et surtout par une sélection poussée des effectifs à embarquer.

CHAPITRE PREMIER

PHYSIOLOGIE DES PLONGÉES

Les plongées de durée moyenne (une à trois heures) effectuées en temps de paix à bord des bâtiments actuels n'entraînent pas de modifications physiologiques appréciables. Il n'en était pas de même avant la Guerre et les auteurs étaient unanimes à décrire le mauvais état général, l'anémie et la pâleur des sous-marinières.

En temps de guerre les conditions se modifient : aux fatigues imposées par les opérations militaires, s'ajoute le séjour dans une atmosphère d'étuve pendant les plongées de longue durée. Il suffit de lire les ouvrages consacrés à la guerre sous-marine pour s'en persuader.

Nous allons voir, chemin faisant, les réactions des divers appareils et les éléments qu'il faut incriminer au cours des plongées répétées et prolongées, les seules à considérer dans ce chapitre.

APPAREIL CARDIO-VASCULAIRE. — C'est sur ce terrain que semblent devoir porter les principales modifications. Des travaux effectués par le Dr LAFOLIE, à

la fin de la Guerre (1), nous dégageons les faits suivants :

La tension artérielle avait été prise avec l'appareil de POTAIN, chez tous les hommes de l'Escadrille des sous-marins de Brest, en temps ordinaire et à leur retour de tournées militaires égales ou supérieures à 4 jours consécutifs. Une plongée moyenne était sans influence, mais les plongées dépassant 12 heures entraînaient une lassitude générale et, parallèlement, un abaissement de la tension.

L'auteur expliquait ce fait par une intoxication de la fibre cardiaque par excès d'acide carbonique et diminution d'oxygène. Il y voyait un critérium de la fatigue et une indication pour le médecin de ne pas laisser les hommes reprendre la mer avant récupération du taux primitif de la tension. A la même époque, RIDEAU avait noté la diminution des globules rouges et l'apparition d'une circulation veineuse supplémentaire à la partie antérieure du thorax après les plongées de très longues durées, souvent répétées pendant les hostilités. Des numérations globulaires effectuées avant et après une plongée de 48 heures avaient été particulièrement concluantes.

Une légère accélération du pouls avait de plus été constatée.

Malgré notre désir, nous n'avons pu reprendre ces études qui ne sauraient d'ailleurs aboutir à des conclusions nettes en temps de paix.

(1) D^r LAFOLIE. Tension artérielle et plongées sous-marines (*Archives de Médecine Navale*, 1919, page 108).

VOIES RESPIRATOIRES. — Deux éléments différents sont ici responsables des troubles observés : d'une part les modifications chimiques de l'atmosphère, de l'autre les variations brusques de température qui s'opèrent à l'ouverture des panneaux dès le retour en surface.

L'altération chimique de l'air est actuellement prévenue par les procédés de régénération ; il ne s'en suit pratiquement aucun trouble important : tout au plus peut-on noter un peu de dyspnée qui semble surtout sous la dépendance de l'humidité, et non : la saturation de l'air entrave en effet l'élimination pulmonaire de la vapeur d'eau.

BELLI et OLIVI, après recherches expérimentales, ont nié l'influence néfaste sur les voies respiratoires de l'air confiné.

Nous retiendrons davantage les variations brutales de température : elles entretiennent fréquemment des troubles du nez et de la gorge. Aussitôt après la plongée, les hommes s'évadent sur le pont sans précaution spéciale, pour chercher un peu de fraîcheur ; les refroidissements subits sont à l'origine de nombreux cas d'affections pulmonaires aiguës, nous y reviendrons.

SYSTÈME NERVEUX. — Pendant la Grande Guerre, les équipages des sous-marins allemands avaient été soumis à des croisières prolongées et incessantes : les dangers de tous les instants et les quarts sans fin avaient rendu infernal le séjour à bord ; beaucoup d'hommes présentaient des troubles nerveux avec céphalées, palpitations, irritabilité, symptômes entretenus par les bruits, vibrations exagérées et chocs émotifs. De nom-

breuses psychoses s'étaient déclarées chez des prédisposés, sous l'effet du surmenage. Déjà en temps de paix, de petits troubles d'asthénie nerveuse à formes variables peuvent se manifester chez quelques sujets ce qui, en général, contre-indique l'affectation des jeunes recrues aux sous-marins.

Certains éprouvent, au bout de quelques heures de plongée, un besoin invincible de dormir : peut-être s'agit-il de l'action narcotique du CO_2 chez des individus particulièrement sensibles.

ORGANES DES SENS. — Les yeux, sauf de rares exceptions, s'accommodent bien de la lumière électrique. Il convient cependant d'éviter une lumière trop éclatante en utilisant, autant que faire se peut, l'éclairage indirect, particulièrement devant les tableaux de manœuvres.

L'usage prolongé du périscopes entraîne rapidement une gêne de l'accommodation et de la convergence : la vision monoculaire et la position peu satisfaisante fatiguent assez vite l'observateur. On a signalé des troubles sérieux de la vue chez des sujets ayant des imperfections de la vision : aussi faut-il exiger pour les verres périscopiques l'absence de toute aberration sphérique ou chromatique (Contrôle de l'Institut d'Optique).

L'action des variations brusques de pression sur les tympans nous est connue. Ajoutons qu'un certain nombre de sous-mariniers présentent quelques troubles de l'audition surtout manifestée par de l'hypoacousie, et une diminution de l'acuité auditive. Des otites anciennes peuvent se réchauffer et passer à la chronicité.

On peut incriminer les vibrations répétées, les bruits trop intenses des machines, les courants d'air froids. Ces facteurs agissent quelquefois directement sur le nerf auditif : plus souvent ils provoquent et entretiennent un catarrhe tubaire muqueux propagé à l'oreille moyenne. L'examen décèle parfois une dépression du tympan par rétraction du muscle tenseur.

CHAPITRE II

ÉTUDE PATHOLOGIQUE DES CONDITIONS DE VIE A BORD DES SOUS-MARINS

A la lumière des chapitres précédents nous pouvons dresser en quelque sorte un bilan sanitaire. Pour l'établir nous nous sommes basé sur de nombreux rapports médicaux de fin de croisière, nous avons utilisé aussi notre modeste compétence personnelle acquise au cours de notre service au Centre et à l'Escadrille des sous-marins de Brest.

Il faut reconnaître qu'il n'y a pas d'affections propres aux sous-marins : l'existence spéciale qu'on mène à bord peut simplement modifier les conditions d'apparition, l'aspect et la traduction clinique des maladies.

Nous envisagerons tout d'abord l'état sanitaire en général, précisant, chemin faisant, les circonstances qui peuvent expliquer certains faits : croisières lointaines, exercices dans les eaux métropolitaines, etc. Dans une seconde partie nous traiterons plus spécialement des séjours en pays chauds qui appellent quelques considérations particulières.

1^o AFFECTIONS CHIRURGICALES

SUPPURATIONS. — Les rapports sont unanimes sur la fréquence des suppurations : plaies infectées, pyodermites, furoncles, panaris, impetigo de la face, etc... A cela plusieurs causes : tout d'abord la malpropreté engendrée par mille travaux salissants du bord et le lavage corporel sommaire sinon inexistant. Il convient d'insister d'autre part sur la température et l'état hygrométrique élevés qui réalisent sur les sous-marins un véritable climat tropical : on sait en effet que la chaleur et l'humidité favorisent le développement de germes microbiens. Enfin, il faut tenir compte des irritations cutanées provoquées par les huiles, graisses, hydrocarbures qui imprègnent plus ou moins les vêtements : les huiles de pétrole sont particulièrement nocives et infectent les moindres excoriations de la peau ; elles déterminent fréquemment une affection prurigineuse rappelant la gale que l'on désigne sous le terme de « boutons d'huile ». Les cas de furonculose ne sont pas rares et certains sous-marins en croisière ont été le théâtre de véritables épidémies de staphylococcies. Les plaies banales sont souvent longues à guérir, suppurent facilement et présentent un aspect atone avec cicatrisation très lente.

Le traitement est essentiellement prophylactique et doit s'appuyer sur une propreté rigoureuse, à la fois corporelle et vestimentaire.

OTITES. — CONJONCTIVITES. — Là encore, il faut

incriminer les fautes d'hygiène et l'action des corps gras apportés par les mains (mécaniciens surtout). Les otites sont souvent externes, eczémateuses. Les furoncles du conduit sont fréquents. Les bains dans l'eau de mer polluée par le pétrole sont dangereux et d'assez nombreux cas d'otites reconnaissent cette origine. Les courants d'air produits par les ventilateurs portatifs peuvent réaliser une cause occasionnelle.

CARIES DENTAIRES. — Elles sont nombreuses et se compliquent fréquemment d'abcès. La plupart des hommes, pour ne pas dire la totalité, ne prennent aucun soin de la bouche : c'est regrettable. Il serait souhaitable que les responsables trouvent les moyens d'imposer ces soins, ou en fassent au moins comprendre l'absolue nécessité sur un bâtiment où l'hygiène rencontre déjà tant d'obstacles. On doit distribuer largement aux équipages : brosses à dents et dentifrices, et faciliter l'envoi des hommes aux consultations dentaires des ports.

Rappelons ici le rôle qu'on a voulu faire jouer aux carences alimentaires dans la genèse de beaucoup de ces infections. Cette théorie, qui a de nombreux partisans, trouve des points d'appui dans beaucoup de domaines, mais elle mériterait d'être étudiée plus à fond à bord des sous-marins, où la carence en vitamine A anti-infectieuse est parfois à redouter. La fréquence des suppurations sur quelques bâtiments appelle une révision de l'alimentation et un choix plus judicieux des conserves. Certaines affections graves à évolution très lente chez les sous-mariniers seraient peut-être justi-

ciables d'un traitement à base de vitamine A (injections et pansements vitaminés) (1).

TRAUMATISMES. — Ils sont fréquents, mais le plus souvent sans gravité : plaies des mains et des doigts chez les mécaniciens, brûlures de cause physique (électricité) ou chimique (acide sulfurique) chez les électriciens. Plus sérieuses sont les chutes dans les panneaux ou contre les moteurs provoquées par le roulis. Pour éviter toute suppuration, la désinfection des plaies les plus banales doit être immédiate et méticuleuse.

2^o AFFECTIONS MÉDICALES

MALADIES DES VOIES RESPIRATOIRES. — Il faut incriminer surtout la négligence des hommes à se couvrir après leur quart et pendant la nuit. Les refroidissements sont fréquents lorsqu'on passe de l'atmosphère surchauffée du bord sur le pont. Les timoniers et, en particulier, l'homme de barre en service dans le kiosque sont constamment exposés aux courants d'air. A la suite des plongées de longue durée, on constate fréquemment des affections pulmonaires aiguës : c'est ainsi qu'après une plongée de 8 heures effectuée sur le

(1) Le Professeur Ch. HEDERER a étudié particulièrement le traitement vitaminé des lésions produites par les gaz vésicants (ypérite, lewisite) : des injections sous-cutanées ou intramusculaires et des applications sur les plaies de produits à base de vitamine A faciliteraient les processus de réparation. Toutefois, il faut se méfier des hypervitaminoses locales qui arrêteraient la cicatrisation.

sous-marin X..., plusieurs cas de bronchite dont deux assez sérieux, ont été observés : l'un avec mauvais état général et température persistante a nécessité une hospitalisation, l'autre a entraîné une exemption de service de quatre semaines.

Pendant longtemps, l'action irritante des vapeurs toxiques a été mise en cause : cette étiologie ne peut jouer qu'un rôle secondaire ; cependant, elle semble donner parfois un aspect clinique un peu particulier. Le D^r LE GAC a rapporté quatre cas très nets de cortico-pleurites assez spéciales (1). L'état général était très atteint avec asthénie profonde, inappétence, température vespérale ou matinale oscillant autour de 38°, léger amaigrissement. Au début, point de côté modéré, toux sèche devenant rapidement grasse. A l'examen, les signes étaient les suivants : à l'une des bases et même au sommet frottements pleuraux très nets que, dans un cas, on sentait à la palpation, avec perception par le malade lui-même. Au même point : râles sous-crépitants et dans les deux champs pulmonaires quelques ronchus et sibillances. Le diagnostic porté était cortico-pleurite avec réaction bronchique. L'évolution a été extrêmement rapide : tous les phénomènes ayant disparu en cinq jours au plus sans autre traitement que le repos, des révulsions thoraciques et un purgatif. Les signes généraux : fatigue et inappétence ont également cédé très vite.

(1) D^r LE GAC. Rapport médical de croisière des sous-marins *Le Glorieux* et *Le Héros* (*Archives de Médecine Navale* 1936, page 57).

Des faits analogues avaient attiré l'attention sur les « Torpilleurs japonais » d'après-guerre : ils avaient été attribués aux émanations toxiques des peintures étendues à l'intérieur des locaux sur la coque surchauffée. Sur les sous-marins, les produits toxiques, nous l'avons montré, ont à peu près complètement disparu : cependant il arrive parfois qu'avant la plongée, lorsque les Diesels stoppent, une fumée âcre se répande dans le compartiment des machines jusqu'au poste central. Cette étiologie, bien que douteuse, mérite d'être signalée si l'on considère que les quatre cas rapportés ont été observés chez des mécaniciens et des électriciens.

TROUBLES DIGESTIFS. — Nous avons déjà signalé le dégoût éprouvé par les hommes pour les vivres « Carissan » qu'ils accusent d'être sans saveur. Beaucoup restreignent de ce fait leur alimentation pendant la période de consommation des conserves, surtout lorsqu'il fait mauvais temps.

On observe, principalement en pays chauds, quelques affections banales et sans gravité : embarras gastriques fébriles, crises de coliques et de diarrhée. On peut les attribuer, soit au régime (abus de boissons glacées ou de fruits aux escales), soit aux refroidissements lorsque les hommes passent la nuit sur le pont ou négligent le port d'une ceinture de flanelle.

La constipation est particulièrement fréquente à bord des sous-marins et relève à la fois de la carence en cellulose et du manque d'exercice.

INTOXICATIONS. — Les intoxications alimentaires

sont exceptionnelles. Elles pourraient provenir, si l'on n'y prenait garde, de conserves avariées. Mais, dans la marine, tous les lots de conserves sont analysés au point de vue bactériologique avant réception. Des conditions très strictes sont imposées aux fournisseurs. Il est dès lors très rare de trouver de mauvaises conserves, ainsi que le montrent les milliers d'analyses pratiquées dans les laboratoires des ports. Aussi, n'avons-nous constaté aucun cas de troubles sérieux de cette origine.

Nous nous sommes suffisamment étendu sur les viciations atmosphériques pour n'y point revenir longuement, rappelons qu'elles ont, pour la plupart, été combattues avec succès. L'époque des intoxications massives et mortelles est depuis longtemps révolue. On observe encore de temps en temps des troubles légers, le plus souvent fugaces, qui relèvent, semble-t-il, des vapeurs issues des machines : huile de graissage, produits de combustion du gaz oil, hydrocarbures surtout, ou encore des peintures.

Hydrocarbures. — Les hydrocarbures peuvent provoquer quelques troubles du type benzolisme caractérisés par des :

Signes digestifs : anorexie, gastralgie, constipation ;

Signes nerveux : asthénie, céphalées, états ébrieux, vertiges, crampes ;

Signes sanguins : anémie modérée avec neutropénie.

(DUBOIS. Congrès de Médecine légale 1928. Travaux de LAIGNEL, LAVASTINE et AMOUR. P. LIBER sur les troubles nerveux observés chez des ouvriers travaillant sur les Diesels).

Sur les sous-marins, les intoxications chroniques, heureusement rares, se manifestent généralement par une forme assez spéciale de fatigue générale. Neuf cas ont été observés au cours d'une croisière récente (1); tous comportaient un amaigrissement important avec asthénie intense, anorexie presque absolue, vertiges, lipothymies, fièvre, parfois signes de bronchite. Ces symptômes ont motivé des examens de sang qui ont donné les résultats suivants :

Taux d'hémoglobine : 75 à 85 % ;

Hématies, dans 2 cas : 4.000.000 à 4.500.000 ;

» » 3 cas : 3.500.000 à 4.000.000 ;

» » 2 cas : 2.000.000 à 3.000.000.

Il existait en outre des modifications de la formule leucocytaire marquées essentiellement par une hyperleucocytose avec polynucléose (8 cas), parfois lymphocytose (6 cas) et un peu d'éosinophilie (7 cas).

Les cas rapportés ont presque tous été observés chez des mécaniciens et électriciens. L'évolution a été bénigne et le traitement a consisté simplement en administration de quinine et injections de cacodylate de soude.

Peintures. — Les accidents de cette origine se sont produits sur différents bâtiments de guerre, on a même signalé des intoxications par l'oxyde de carbone.

Nous retiendrons surtout à bord des sous-marins les méfaits du bitume-mastic (2). Le cubage restreint, la

(1) MALAVOY. Rapport médical de croisière des sous-marins *Protée* et *Actéon* (*Archives de Médecine Navale* 1937, page 99).

(2) D^r QUÉRANGAL DES ESSARTS. Notes sur quelques cas d'intoxication due à l'emploi des préparations dites bitume-

chaleur parfois excessive des locaux favorisent l'action nocive des produits volatils dégagés. Les accidents dus à ce produit ont éveillé l'attention des Autorités maritimes qui en ont réglementé l'emploi. L'absorption se fait surtout par voie pulmonaire et le toxique se fixe sur les centres nerveux supérieurs à la façon d'un anesthésique général, déterminant des phénomènes cérébraux (ébriété, excitation, céphalées), cérébelleux (vertiges, bourdonnements d'oreilles) et bulbaires (syncopes). Les organes hématopoïétiques sont fréquemment atteints, d'où modifications de la formule sanguine (éosinophilie).

Cliniquement on peut observer trois formes d'intoxication par le bitume-mastic :

1^o Une forme légère caractérisée par un état ébrieux avec excitation cérébrale rappelant l'ivresse alcoolique ;

2^o Une forme moyenne avec état comateux ;

3^o Une forme grave débutant par une syncope suivie de troubles organiques variés et pouvant aller jusqu'à la mort.

Nous avons pu recueillir deux observations qu'il nous a paru intéressant de résumer :

1^{re} *observation* : (cas n^o 5 de l'article précité : D^r QUÉRANGAL DES ESSARTS, *Archives de Médecine Navale* 1932, page 235).

mastic à bord des navires de guerre (*Archives de Médecine Navale* 1932, page 235).

G. R ., 19 ans, quartier-maître mécanicien à bord du sous-marin *Henri-Poincaré* peignait au bitume-mastic une caisse de plongée rapide, local exigü, très mal aéré. Au bout de trois quarts d'heure, il éprouve une céphalée avec nausées et vertiges ; il peut péniblement sortir du ballast et parvient, soutenu par des camarades, à gagner le pont où il tombe sans connaissance ; quelques instants après il présente des phénomènes épileptiformes très violents. Il est adressé à l'hôpital maritime. Le lendemain il accuse une sensation de fatigue avec état nauséeux et bourdonnements d'oreilles. L'examen est négatif, en particulier rien dans les urines, réflexes normaux.

Une numération globulaire donne : 5.125.000 hématies et 7.750 leucocytes, et la formule leucocytaire :

Polynucléaires neutrophiles	54 %
» éosinophiles	10 %
Lymphocytes	30 %
Monocytes	6 %

2^e observation (inédite), due à la bienveillance de Monsieur le Médecin Principal QUÉRANGAL DES ES-SARTS :

A... Alph., matelot mécanicien du sous-marin *Xb...* est trouvé à 17 heures inanimé dans un compartiment des fonds de ce navire qu'il avait été chargé de peindre au bitume-mastic, avec un de ses camarades. Celui-ci, s'étant senti mal à l'aise, était remonté sur le pont prendre l'air. Il y était resté environ une demi-heure et c'est en redescendant achever son travail qu'il prévint un des gradés du malaise qu'il avait ressenti. C'est

alors que l'on trouva le matelot A... plongé dans le coma.

On parvint avec peine à le sortir du compartiment et on le mit dans un poste. Un infirmier pratiqua la respiration artificielle avec l'appareil PANIS et fit appeler le médecin de garde. A l'arrivée de ce dernier l'intoxiqué était plongé dans le coma, la face était pâle, les pupilles dilatées, le pouls rapide mais bien frappé. La respiration artificielle fut continuée tandis que l'on injectait caféine et huile camphrée.

Dix minutes après, l'intoxiqué sortait du coma ; il se plaignait de violents maux de tête, l'haleine avait une odeur aromatique. Il déclarait ignorer la cause de son malaise mais pensait que la peinture employée (bitumemastic solution) était en cause car le jour précédent, s'étant servi du même produit, il avait eu, en fin de journée, des éblouissements suivis de maux de tête et de vomissements. Le lendemain tous les signes avaient disparu. Une formule sanguine montrait une éosinophilie à 6 %.

Le traitement de ces intoxications par le bitumemastic doit être essentiellement prophylactique ; l'idéal serait de pouvoir remplacer ce produit par des peintures à l'huile de lin, mais si, pour des raisons pratiques, l'usage des peintures à base d'hydrocarbures doit être maintenu, il faut prendre un certain nombre de précautions, d'ailleurs réglementaires : instruire de ses dangers les hommes appelés à manipuler le produit, faire surveiller le travail par un gradé et en limiter la durée, ventiler largement les locaux pendant l'application de la peinture, puis les condamner pendant 24 heures. Dans les locaux où la ventilation est impossible, il y au-

rait lieu d'utiliser des appareils respiratoires. Quant au traitement curatif, il se ramène à la respiration artificielle avec administration de toni-cardiaques puis de stimulants, pour combattre l'asthénie consécutive. Les reins et le cœur doivent être surveillés.

FATIGUE GÉNÉRALE. — Insensible après les sorties de courte durée, la fatigue générale se manifeste pendant les longues croisières, surtout en pays chauds et pendant les hostilités. Elle est la conséquence des efforts physiques, de l'atmosphère déprimante du bord, de l'inappétence qu'entraîne l'usage prolongé des vivres « Carissan », des fautes d'hygiène accumulées par les hommes surmenés ; le repos lui-même en cas de guerre est haché par des veilles et des quarts incessants et l'angoisse morale vient ajouter ses méfaits à cet état de chose.

Les rapports médicaux consécutifs aux croisières d'endurance signalent de nombreux cas de fatigue générale : 22 sur 120 hommes pendant le voyage des sous-marins *Protée* et *Actéon* de Toulon aux Antilles, du 1^{er} avril au 6 juillet 19...

Toutefois il ne faut pas exagérer l'importance de ces faits : sous la réserve de n'embarquer que des hommes robustes, en parfait état de santé, les fléchissements constatés sont généralement bénins et n'entraînent aucun signe objectif appréciable en dehors d'une perte de poids plus ou moins accentuée.

Avant et après chaque croisière, les effectifs sont pesés. Voici quelques chiffres relevés sur des rapports récents :

a) Sous-marins *Le Héros* et *Le Glorieux*, croisière

de 4 mois en Extrême-Orient : effectif global : 135 hommes.

15	hommes	ont perdu	1 kilog ;
13	»	»	2 kilogs ;
10	»	»	de 3 à 4 kilogs ;
7	»	»	5 à 6 kilogs ;
1	»	»	8 kilogs.

Tous ont repris rapidement leur poids primitif ;
4 hommes ont pris 1 à 2 kilogs pendant le voyage.

b) *Actéon*. Sur 45 hommes pesés :

23 n'avaient pas changé de poids
13 avaient pris de 1 à 3 kilogs
9 avaient perdu de 1 à 3 kilogs.

Protée. Sur 55 hommes pesés :

22 n'avaient pas changé de poids
13 avaient pris de 1 à 4 kilogs ;
10 avaient perdu de 1 à 5 kilogs.

Tous les rapports médicaux de fin de croisière donnent des chiffres analogues et signalent une récupération rapide dès l'arrivée à la base.

Les résultats ci-dessus ont été notés sur des sous-marins non pourvus d'installation à air conditionné. Il est intéressant de les comparer à ceux qui ont été relevés sur les sous-marins *Xc...* et *Zb...* où ce facteur important de confort aide puissamment au maintien d'un excellent état de santé.

MAL DE MER. — Comme tous les autres bâtiments, les sous-marins sont par mauvais temps soumis au roulis et au tangage, générateurs de la naupathie.

On sait que la tendance au roulis dépend de la stabilité : toutes choses égales d'ailleurs, une forte stabilité expose le navire à des roulis très durs. Pour les petits bâtiments, comme les sous-marins, les constructeurs s'efforcent de limiter l'amplitude des mouvements de roulis : cela diminue en partie le choc brutal des lames et des paquets de mer qui tendent à arracher par gros temps les tôleries légères et les accessoires logés sur les superstructures et évite aussi les mouvements durs et lents si pénibles pour les individus prédisposés au mal de mer.

Sur les sous-marins, l'atmosphère confinée du bord et les odeurs écœurantes du gaz oil et de la cuisine précipitent les nausées. Toutefois la plongée fait habituellement disparaître les symptômes, car à 12 mètres les mouvements de la mer sont fortement atténués ; même par très gros temps ils cessent complètement à 30 mètres.

La naupathie est particulièrement désagréable à bord des sous-marins : elle ajoute un élément de plus au dégoût alimentaire et aux fatigues habituelles. Il convient de la traiter énergiquement. Nous ne rappellerons pas les longues discussions sur la pathogénie du mal de mer, manifestation de déséquilibre vago-sympathique à prédominance digestive. Disons simplement que nos observations nous ont amené à envisager deux sortes de traitements suivant les réactions générales du sujet : l'un à base de belladone pour les vagotoniques, l'autre représenté surtout par le tartrate d'ergotamine (gynergène) modérateur du sympathique.

Un nouveau médicament, le « Bellargal » contient les

principes ci-dessus (alcaloïde de la belladone, gynergène) et de la phényl-éthyl-malonylurée. Expérimenté en II^e escadre (1936-1937) il n'a cependant pas donné de résultats très appréciables.

TROUBLES DIVERS. — Plusieurs cas de douleurs rhumatismales, imputables à l'humidité parfois excessive des postes, ont été signalés sur certains sous-marins.

Les méfaits de la chaleur se manifestent de temps en temps par des crampes dites de chaleur, avec sensation de fatigue brisante, constriction thoracique, céphalée, lipothymies parfois. Le vrai coup de chaleur est rare. Ces cas s'observent surtout aux compartiments des moteurs thermiques ainsi qu'à la cuisine ; il y a lieu de les prévenir lorsque le climat ou l'intensité de l'effort exigé du personnel les font craindre. Le Dr LE GAC préconise l'administration de boissons sucrées, café étendu d'eau et légèrement rafraîchi, très apprécié des équipages, ou tisane d'orge, excellent préservatif des coups de chaleur.

A ces troubles dus à l'élévation de température peuvent se rattacher les « coups de lumière électrique », sous l'action d'une lumière artificielle très intense et dont quelques cas, à la vérité très rares, ont été signalés.

TUBERCULOSE. — La nécessité qui s'impose de la dépister avant tout embarquement nous oblige à reporter son étude au chapitre de l'aptitude physique.

3^o CROISIÈRES EN PAYS CHAUDS

Ces voyages d'endurance synthétisent les progrès accomplis depuis quelques années : ils donnent pleine satisfaction au point de vue navigation, consacrent la parfaite mise au point du matériel et mettent en relief la valeur et l'importance militaires des sous-marins dits coloniaux.

Toutefois, ils constituent une dure épreuve d'endurance physique en raison du climat, des traversées plus ou moins longues et des circonstances qui obligent parfois à imposer pendant les escales des travaux pénibles (révision du matériel).

ETAT SANITAIRE EN GÉNÉRAL. — Lorsque les visites d'embarquement et avant campagne sont sévères et accompagnées d'examens radiologiques, seuls sont embarqués les hommes rigoureusement sains et robustes, capables d'efforts prolongés. L'état sanitaire est alors satisfaisant et les cas de fatigue sont, comme nous l'avons montré, bénins et de courte durée, sans retentissement sérieux sur l'état général.

Il y a généralement, au début de la croisière, une période d'adaptation qui se manifeste par des signes de fatigue. Les deux premiers mois sont habituellement indemnes d'affection sérieuse, puis la moyenne des exempts s'élève peu à peu.

Souvent des hommes sont pris en complément d'effectif : outre l'aide efficace qu'ils apportent aux beso-

gnes journalières, ils fournissent des remplaçants aux malades exempts, hospitalisés ou rapatriés et permettent, de temps en temps, de mettre au repos, par roulement, quelques hommes fatigués sans que le service normal ait à en souffrir.

Il est indispensable, pour maintenir les équipages en bonne santé, de veiller scrupuleusement, en pays chauds, à la nature de l'alimentation et aux qualités bactériologiques de l'eau de boisson et de la glace. Il faut, dans la mesure où les nécessités militaires le permettent, assurer une répartition des heures de travail et de repos en rapport avec le climat. C'est ainsi que pendant le séjour des sous-marins *Y...* et *Xg...* à Fort-de-France, l'horaire de la journée était le suivant : pendant la matinée exécution des travaux pénibles, bain à 11 heures, déjeuner, sieste de 12 à 14 heures ; les permissionnaires sortaient dans l'après-midi.

Durant les longues escales, les Autorités maritimes ou militaires mettent à la disposition des équipages des logements à terre. Cela permet un repos plus réparateur que dans l'atmosphère surchauffée du bord et donne aux hommes la possibilité de se laver et de nettoyer leur linge. Il serait souhaitable que, dans les bases maritimes de nos colonies, des logements vastes, clairs et bien entretenus fussent réservés aux équipages de nos sous-marins. Ils devraient, pour assurer la détente salutaire qu'on leur demande, comporter un minimum d'installations : dortoirs avec lits ou hamacs pourvus de moustiquaires, lavabos et douches, cuisine, infirmerie, salle de lecture et de jeu, terrain de sports, pavillon séparé pour l'Etat-Major. De pareils logements doivent être

autant que possible surélevés, faciles à ravitailler et voisins des Ports (1).

Dans certains pays au climat déprimant, les équipages sont envoyés par fractions, dans un camp de repos (2). Là encore la question mérite d'être étudiée et approfondie. Même de courte durée, un séjour à une altitude élevée où les nuits sont plus fraîches, au grand air dans un site agréable ne peut qu'avoir une influence heureuse sur le moral et la santé et partant sur la valeur militaire de l'effectif. Très souvent on se contente d'envoyer les hommes fatigués se reposer dans les hôpitaux coloniaux (Fort-de-France) ou dans les infirmeries à terre (Casablanca, Dakar), solution facile qui donne d'excellents résultats.

A la question du logement se rattache celle des loisirs et des distractions. Sur beaucoup de bâtiments, l'Etat-Major a organisé, pour ses équipages, des jeux, sports, concours ou excursions qui agrémentent le séjour ; il est à souhaiter que ces mesures se généralisent et se perfectionnent. Le Commandement, soucieux du bien-être et de la valeur morale de ses effectifs, sait combien l'organisation des loisirs peut aider à l'utilisation militaire des hommes et devient, en bien des cas, un préservatif contre les dangers qui les guettent (maladies vénériennes, alcools, stupéfiants).

Naturellement les équipages des sous-marins ne sont

(1) Une installation répondant à quelques-uns de ces desiderata existe à Casablanca.

(2) Aux Antilles, le camp de Balata offre les bénéfices d'une altitude de 400 mètres, avec température moyenne de 28°, dans le calme d'une magnifique végétation.

pas à l'abri des maladies exotiques qu'ils peuvent contracter aussi bien que s'ils étaient embarqués sur des bâtiments de surface. Les plus fréquentes sont les parasitoses intestinales et le paludisme.

Les parasitoses intestinales, dysenteries amibiennes surtout, sont fréquentes sous les climats chauds et humides ; favorisées par le surmenage, les refroidissements et les fautes alimentaires, elles ont presque toujours une origine hydrique : aussi faut-il redoubler de vigilance et multiplier les analyses bactériologiques ou à défaut les moyens de stérilisation de l'eau.

Le paludisme est l'affection la plus redoutée sur les côtes d'Afrique. Il se manifeste, soit au cours de la croisière, soit dans les mois qui suivent le retour, à l'occasion d'un malaise banal (rhume, grippe) ou d'une vaccination : aussi est-il indiqué de pratiquer systématiquement un examen de sang à tous les malades rentrant de croisière dès l'apparition de fièvre, quelle qu'en puisse être l'origine ; c'est la conduite observée à l'infirmerie de la 4^e Escadrille à Brest.

PROPHYLAXIE PALUSTRE. — Plusieurs mesures antipalustres s'imposent :

a) *Administration de quinine* : à la dose de 0 gr. 50 « pro die » en pays infestés de paludisme. Le médecin doit veiller à ce que la dose soit effectivement absorbée : il assiste à l'ingestion du médicament et en recherche la trace dans les urines par le réactif de TANRET. Bien que très utile, ce moyen préventif se révèle insuffisant.

b) *Protection des hommes contre les piquûres*. — On sait que les moustiques anophèles sont les propagateurs de

la maladie qu'ils véhiculent du malade à l'homme sain. Les insectes sont attirés par la lumière et ne piquent que la nuit. Une double protection s'impose donc : éviter les lumières éclatantes, empêcher les moustiques de pénétrer à bord.

Beaucoup de canonnières fluviales et d'avisos coloniaux ont remplacé les lumières blanches de l'extérieur par des lumières bleues ou rouges ; cette méthode pourrait avantageusement être appliquée dans la mesure du possible lorsque le bâtiment est à quai ou à proximité des terres.

L'opinion générale est que les moustiques gênés par la ventilation ne pénètrent pas à bord des sous-marins ; ce n'est pas tout à fait exact. Des hommes ont été piqués dans les postes d'équipage. Il y aurait donc lieu d'établir une protection efficace. Voici le dispositif préconisé par le Dr ESTRADÉ, médecin chef de la 4^e Escadrille :

Au mouillage, dès la tombée de la nuit, tous les panneaux, sauf ceux du sas et du kiosque, devraient être consignés et obturés par une toile métallique ou une moustiquaire montée sur un cerceau adapté à l'orifice. Les panneaux réservés au passage seraient pourvus de la même installation avec dispositif formant clapet à fermeture automatique.

MALADIES VÉNÉRIENNES. — On connaît la fréquence des contaminations aux Colonies et dans les pays habituellement visités par les sous-marins (Antilles, Côtes d'Afrique, Extrême-Orient).

Aux Antilles et à la Martinique, en particulier, un pourcentage considérable de la population est atteinte

de syphilis; la lymphogranulomatose inguinale subaiguë (maladie de NICOLAS et FAVRE) devient très fréquente chez les équipages touchant aux Antilles et à Dakar; aussi faut-il renforcer les mesures prophylactiques habituelles et prévenir les hommes des dangers qu'ils courent. Le Commandement a dû, dans certains cas, fixer la rentrée des permissionnaires à 22 heures et à 24 heures trois fois par semaine. Outre leurs dangers individuels, les maladies vénériennes à bord des sous-marins entraînent de lourdes conséquences pour le rendement militaire des effectifs : l'hospitalisation immédiate des contaminés est nécessaire. A cela, plusieurs raisons impératives : risques de contagion par suite de la promiscuité dans les postes, difficulté de donner des soins suivis et méticuleux dans des locaux improvisés. L'indisponibilité prolongée des malades gêne considérablement le service sur de petits bâtiments qui ne peuvent se passer d'éléments spécialisés et souvent indispensables.

4^o CONCLUSIONS

Nous avons analysé les conditions de vie à bord des sous-marins et considéré leur retentissement physiologique et pathologique. Il convient, dans une vue d'ensemble, de tirer les conclusions qui s'imposent et d'apprécier les réactions de la vie sous-marine sur la santé des effectifs.

Nous avons étudié les faits médicaux relevés sur les cahiers de visites après plusieurs croisières lointaines effectuées récemment par les sous-marins :

a) Xc... et Zb... (six mois) : Antilles et Amérique du Sud ;

b) Yd... et Yc... (quatre mois et demi, saison sèche) : Golfe de Guinée ;

c) Zd... et Xf... (cinq mois, saison des pluies) : Golfe de Guinée ;

d) Zc... et Xd... (cinq mois et demi, saison sèche) : Golfe de Guinée.

Signalons que les premiers sous-marins Xc... et Zb... étaient pourvus d'installations d'air conditionné.

Pour faciliter la comparaison de l'état sanitaire des effectifs pendant les différentes croisières, nous établissons un tableau récapitulatif des principaux faits médicaux consignés à bord ; les durées des croisières étant inégales, des moyennes ont été faites pour un mois de voyage. Enfin nous donnons les chiffres comparables relatifs à des bâtiments de même effectif demeurés en Escadre (p. 229).

A la lecture de ce tableau quelques remarques s'imposent :

Tout d'abord l'état sanitaire a été satisfaisant dans l'ensemble, sauf en ce qui concerne les sous-marins du 3^e groupe où le nombre des journées d'invalidité a été considérable ; cela tient à la saison humide pendant laquelle s'est déroulée cette croisière.

Les équipages des sous-marins du 4^e groupe ont, semble-t-il, moins souffert de leur croisière. Cependant, il y a eu, après le retour, plus d'exempts et d'hommes en observation que sur les autres bâtiments ; mais leur nombre n'a pas atteint celui des sous-marins du 3^e groupe, les plus éprouvés.

Sous-marins	Pendant toute la durée de la croisière				Pourcentage pour un mois de croisière.			
	Rapatriés en cours de route	Hospitalisés en cours de route	Exempts à bord		Rapatriés	Hospitalisés	Exempts à bord	
			Nombre de cas	Journées d'invalidité			Nombre de cas	Journées d'invalidité
Xc... et ...	7	3	134	617	1,1	0,5	22,3	103
d... et ...	2	16	147	400	0,4	3,6	32,6	88,8
d... et ...	2	20	148	1166	0,4	4	29,6	233,3
Xc... et ...	2	19	63	205	0,35	3,5	11,5	37,3
État sanitaire des effectifs des 2 sous-marins Y... et demeurés en escadre					»	3,3	3	33

Les sous-marins du 1^{er} groupe bénéficiaient de l'air conditionné, ce qui explique le bon état sanitaire à bord. Pour l'équipage du Xc..., le nombre des exempts a été relativement peu élevé :

Septembre	0,35%
Octobre et Novembre.....	2,00%
Décembre	5,00%
Janvier	5,30%
Février	5,80%

Ils sont du même ordre pour le sous-marin Zb... D'autre part, au retour, les équipages étaient beaucoup moins fatigués que ceux des autres bâtiments et surtout, pendant les trois mois suivants, l'état sanitaire a été au moins aussi bon que celui des sous-marins restés en Escadre ou à leur base.

Il semble donc, aujourd'hui, que les sous-marins peu-

vent, sans inconvénients sérieux, faire de longues croisières, même en pays chauds. Nous ne pouvons mieux faire, pour résumer les progrès accomplis au cours des dernières années, que de citer deux phrases recueillies dans les conclusions de rapports écrits à six ans d'intervalle. Au retour de la croisière des sous-marins *Xb...* et *Yf...* aux Antilles (1932), le médecin de Division concluait : « Il restera très difficile de concilier la valeur
« militaire d'un sous-marin avec le bien-être du personnel sans sacrifier l'un aux dépens de l'autre. » Le compte rendu médical de la croisière de l'*Xc...* et du *Zb...* (1), dans les mêmes régions (1937-1938) se résumait ainsi :
« L'état sanitaire des équipages, au lieu de fléchir,
« s'est au contraire amélioré pendant cette croisière. La
« généralisation de l'installation d'air conditionné sur
« les autres sous-marins pourra seule expliquer et permettre de voir se renouveler des résultats aussi
« satisfaisants ».

(1) A plusieurs reprises, et notamment dans ce chapitre, nous avons fait allusion à ces deux bâtiments à propos des bienfaits de l'air conditionné.

CHAPITRE III

RESSOURCES MÉDICO-CHIRURGICALES

PERSONNEL MÉDICAL. — Le service médical est assuré par les médecins de la Flottille assistés d'infirmiers. Le personnel de santé est réparti entre le bâtiment ravitailleur, où se trouve le médecin-chef de la Flottille, et les infirmeries des stations dirigées par les médecins d'Escadrilles.

Au mouillage à la base, les hommes passent la visite à terre, à l'infirmerie de la Station. S'il existe un bâtiment ravitailleur (c'est le cas du *Jules-Verne* pour la 2^e Flottille) certains examens se font à son bord : visites d'embarquement et d'aptitude à faire campagne, examens radiologiques, soins dentaires.

Lorsque les sous-marins prennent la mer, s'il s'agit d'un court séjour (un jour ou deux) aucun représentant du service de santé n'est prévu, pas même un infirmier. Le Commandant est alors responsable de la santé de son équipage et utilise, le cas échéant, le matériel médical mis à sa disposition par application de l'Instruction médicale annexée. Comme à beaucoup d'officiers et de médecins, une grande lacune nous est apparue dans cet état de choses : on ne peut méconnaître la nécessité

qu'il y a d'embarquer un infirmier sur chaque sous-marin, même de faible tonnage. En admettant que le besoin de ses services ne soit pas toujours urgent, il n'en reste pas moins que son rôle peut revêtir une importance toute particulière si le bâtiment est isolé. Utiliser judicieusement les ressources du coffre à médicaments, donner les premiers soins en cas d'accident, instituer un prudent traitement d'attente, savoir déceler, pour les soumettre au jugement du Commandant, les premiers symptômes d'une affection grave ou contagieuse, sont des fonctions délicates qui ne peuvent être confiées qu'à un personnel spécialisé. Au surplus l'infirmier pourrait être employé à des besognes utiles : propreté, service des tables, secrétariat.

Pour une croisière de longue durée, le service médical est assuré par un médecin assisté d'un infirmier embarqués sur l'unité ou le bâtiment convoyeur lorsque le sous-marin est accompagné. Ces dispositions n'existent que depuis 1932, jusqu'alors on envisageait des escales fréquentes à cause du faible rayon d'action des sous-marins.

Quelles que soient l'importance et la valeur du personnel médical attaché aux bâtiments en croisière, il importe que les officiers et l'équipage soient avertis des nécessités d'hygiène qui s'imposent, des dangers encourus à certaines escales, de la prophylaxie et du traitement des intoxications, des soins d'urgence en cas d'accidents, etc... Aussi est-il souhaitable que le médecin de l'Escadrille fasse, de temps en temps, aux effectifs, des conférences pratiques sur toutes ces questions.

INSTALLATIONS SANITAIRES. — Elles sont inexistantes sur les sous-marins de 1^{re} et 2^e classes. On avait envisagé l'installation d'une chambre d'isolement sur les sous-marins destinés à séjourner plus de 30 jours à la mer : elle n'a pas été réalisée faute de place.

Seul le *Surcouf* possède une infirmerie avec 3 couchettes et le matériel habituel : placards, coffrets divers, chauffe-eau, bain-marie, etc... Il n'y a pas de table d'opérations mais, en cas de nécessité, on pourrait utiliser la table du poste des officiers-mariniers.

SERVICE MÉDICAL A LA MER. — Lorsque le personnel médical est embarqué, le médecin passe la visite dans sa chambre, au carré des officiers ou au poste des maîtres, suivant les circonstances. Au mouillage, il se rend sur les autres bâtiments de la Division, s'il y a lieu, pour visiter les malades signalés.

L'infirmier tient à jour le cahier de visites où sont consignés les noms, grades et spécialités des malades, le diagnostic ou les symptômes principaux, le traitement et les exemptions. En l'absence de médecin, il voit les hommes qui se présentent et rend compte chaque jour au Commandant de la situation sanitaire. En dehors du service des malades, l'infirmier est chargé de la désinfection des "bouteilles" et locaux divers, de la stérilisation de l'eau de boisson, de la surveillance des travaux dangereux et des baignades. Il relève la température et le degré hygrométrique des compartiments aux heures prescrites par le Médecin ou le Commandant.

Les malades dont l'état exige l'exemption restent

couchés dans leur poste. Leur régime est signalé au patron ; l'infirmier leur distribue les repas et prépare les tisanes ou potions. Le sucre, le vin, le tafia sont délivrés à la cambuse sur présentation d'un bon signé du Médecin ou du Commandant.

EVACUATION DES BLESSÉS ET MALADES. — L'évacuation des blessés et malades, en temps de guerre, pose, pour les sous-marins, un problème encore plus délicat que pour les bâtiments de surface. L'absence d'infirmier, l'exigüité des locaux rendant impossible tout soin médico-chirurgical de quelque importance, obligerait à faire cette évacuation sur un navire ravitailleur ou, à son défaut, sur n'importe quelle autre unité dotée de locaux sanitaires.

MATÉRIEL MÉDICO-CHIRURGICAL. — Il a été très amélioré depuis sa répartition en coffres. Depuis 1932, en effet, le règlement d'armement prévoit :

Pour les bâtiments ayant un Médecin :

un coffre S. u. a.

deux coffres S. u. b.

un coffre M. s. m.

Pour les sous-marins sans Médecin :

un coffre S. u. a.

deux coffres S. u. b.

Le nombre des coffres peut d'ailleurs varier suivant l'importance de l'effectif, la durée de la croisière et l'objectif militaire du bâtiment.

Les coffres S. u. a. et S. u. b. sont appelés coffres pour secours d'urgence. Ils comprennent des médicaments et instruments de première nécessité dont la forme et la présentation en facilitent l'emploi. Le but poursuivi est d'ailleurs de permettre à tout officier ou infirmier de donner des soins d'urgence à un malade ou à un blessé en attendant les secours médicaux. Le coffre S. u. b. se caractérise par la substitution d'une plus grande quantité de pansements tout préparés à certains produits contenus dans le coffre S. u. a. Une notice détaillée facilite l'utilisation de ce matériel sanitaire.

Le coffre M. s. m. accompagne toujours le Médecin embarqué : il renferme des instruments chirurgicaux et des médicaments dont l'emploi est réservé au corps médical. Son contenu permet des interventions d'urgence et la thérapeutique de toutes les affections courantes. Un coffret à substances vénéneuses lui est annexé.

En plus du matériel réglementaire, les sous-marins emportent des médicaments hors-coffre : sérums, vaccins, spécialités diverses, nécessités par les prévisions de la croisière.

Il est regrettable que le manque de place oblige à loger ces coffres dans un coin du poste central ou du poste d'équipage. Une maladresse risque de causer la perte d'une partie des produits liquides ; pour les caser l'installation d'une armoire a été plusieurs fois demandée. Signalons aussi le désir formulé de voir adopter, sur les sous-marins, le modèle de coffre en duralumin léger et peu encombrant que le D^r PÉLISSIER, mort à bord du *Dixmude*, avait fait construire pour les dirigeables (CAZAMIAN).

CHAPITRE IV

LOGEMENTS A TERRE

STATION OU CENTRE DES SOUS-MARINS. — Lorsque les bâtiments sont au mouillage, à quai ou à l'Arsenal, leurs effectifs vivent à la Station appelée aussi Centre des sous-marins. On désigne ainsi l'établissement militaire ayant un Etat-Major et un équipage distincts de ceux des sous-marins, destiné à recevoir le personnel, à l'administrer et à assurer le ravitaillement.

De vastes postes servent à la fois de réfectoire et de dortoir où sont crochés les hamacs. Des lavabos bien conditionnés et des douches permettent un lavage corporel efficace ; un lavoir, une coopérative, parfois une salle de spectacles avec cinéma apportent aux équipages des facilités et des moyens de détente appréciables. Rappelons qu'au Centre se trouve l'infirmerie de l'Escadron où le Médecin-major donne chaque jour ses consultations et fait passer les visites réglementaires.

SERVICE AU MOUILLAGE. — En dehors des heures consacrées à bord aux travaux, l'équipage fait le ser-

vice par tiers (1) ; chaque soir le tiers de service assure la garde du bâtiment et la faction, un tiers est permissionnaire, le dernier tiers est de corvée. Quand les circonstances le permettent, les hommes de corvée sont permissionnaires. Le personnel de service doit être présent à bord du branle-bas du soir au branle-bas du matin. Le reste de l'effectif peut coucher à la Station.

LOISIRS. DISTRACTIONS. — Si les distractions sont indispensables aux marins qu'une longue croisière a retenus loin du Port et de la famille, elles le sont plus encore pour les sous-mariniers, surtout en temps de guerre. Nous avons montré comment ce point important d'hygiène morale avait été envisagé pendant les croisières ; il doit l'être aussi à terre. Dans ce but, le Commandement a eu l'heureuse idée d'encourager la pratique des sports et la fréquentation des Foyers qui offrent une ambiance familiale et un réconfort moral particulièrement précieux.

(1) Et non par bordées comme sur les bâtiments de surface.

CHAPITRE V

APTITUDE PHYSIQUE AU SERVICE DES SOUS-MARINS

L'aptitude physique des candidats à la navigation sous-marine doit être très sérieusement contrôlée : il s'agit essentiellement d'assurer aux bâtiments des effectifs robustes et sains, capables de soutenir des efforts prolongés sous n'importe quel climat ; l'équipage étant très limité, il est indispensable de prendre toutes précautions pour éviter l'éclosion de maladies qui paralysent la vie du bord et qu'on ne peut soigner commodément.

RÉGLEMENTATION. — Les conditions d'aptitude pour les effectifs des sous-marins sont ainsi définies par la notice 29 du Service de Santé :

Officiers de marine et ingénieurs-mécaniciens : Les officiers de marine et les ingénieurs-mécaniciens appelés à embarquer sur les sous-marins doivent réunir les conditions d'aptitude physique suivantes :

a) Intégrité de tous les appareils organiques, en particulier des appareils respiratoire et circulatoire ;

b) Pour les officiers de marine acuité visuelle au moins égale à 7/10 pour un œil et à 6/10 pour l'autre sans correction ; pour les ingénieurs-mécaniciens 5/10 et 2/10.

c) Bonnes qualités auditives.

L'aptitude physique est constatée par une visite médicale passée, dès la désignation des officiers, par le Médecin-major de leur bâtiment ou service.

Si cette visite fait apparaître un doute sur l'état de santé de l'officier, celui-ci est présenté au Conseil de Santé du Port le plus voisin qui formule, le cas échéant, et le plus souvent après observation à l'hôpital, des propositions pour le retrait temporaire du certificat d'aptitude à la navigation sous-marine. Le Ministre statue.

L'officier peut être remis ultérieurement en possession du certificat après accomplissement des mêmes formalités.

Officiers-mariniers, quartiers-maîtres et marins désignés pour le service des sous-marins. — Les officiers-mariniers, quartiers-maîtres et marins doivent remplir les conditions suivantes :

a) Etre de constitution robuste ;

b) Etre exempts de toute affection chronique, même légère, des appareils circulatoire et respiratoire et de toute infirmité telle qu'hyperhydrose plantaire ou fétidité de l'haleine de nature à incommoder le personnel du bord ;

c) Posséder l'acuité visuelle de la spécialité à laquelle ils appartiennent et une bonne acuité auditive.

EXAMENS MÉDICAUX ET SURVEILLANCE DES EFFECTIFS. — Tout homme à embarquer est soumis à une visite médicale à son arrivée à l'Escadrille : les poumons, le cœur et les vaisseaux (tension artérielle) sont l'objet d'un examen particulièrement approfondi. Une radioscopie est toujours pratiquée. Les antécédents, l'âge des candidats doivent être pris en considération : on écarte les sujets à antécédents familiaux ou personnels suspects et ceux qui ont moins de 18 ans. Certains Commandants, et non sans raison, voudraient voir n'affecter aux sous-marins que des rengagés.

Du 1^{er} janvier 1938 au 20 avril 1939, à l'Escadrille de Brest, 916 candidats se sont présentés à la visite pour aptitude à la navigation sous-marine. Il s'agissait exclusivement d'hommes aptes au service armé à la mer, donc déjà sélectionnés. Sur ce nombre, 114 ont été éliminés pour :

Développement physique insuffisant ou état général médiocre.....	71
Troubles pulmonaires anciens avec séquelles.	24
Affections des oreilles.....	8
Troubles nerveux (pithiatisme, anxiété).....	3
Rhumatisme articulaire aigu.....	2
Troubles dyspeptiques.....	2
Albuminurie	2
Coliques néphrétiques.....	1
Insuffisance dentaire.....	1

En dehors des visites sanitaires habituelles, les hommes doivent subir une visite semestrielle ; ceux qui, à

cette occasion, sont reconnus inaptes, sont versés au service général.

A la 4^e Escadrille certains cas d'amaigrissement ou de fléchissement de l'état général sans troubles organiques sérieux sont portés sur un registre spécial dit des « hommes à revoir » : ces derniers reçoivent alors un supplément de nourriture (grillade, quinquina), sont examinés de nouveau quelques semaines plus tard et écartés des sous-marins s'il y a lieu.

Avant le départ en croisière, surtout dans les pays chauds, un nouvel examen suivi de radioscopie pulmonaire est passé par les Médecins d'Escadrilles. Les vaccinations habituelles (antityphoïdique en particulier) sont faites ou renouvelées au besoin ; il est conseillé d'éliminer les sujets atteints de blennorrhagie en évolution ou ceux dont l'écoulement est tari depuis peu : la difficulté de donner des soins à bord, le régime, les efforts répétés, le climat favorisent le passage à la chronicité et même les complications : quatre cas d'épididymites ont été signalés au cours de croisières récentes chez des sujets atteints de blennorrhagie au départ. Il nous paraît indiqué de s'opposer à l'embarquement de tout homme porteur d'affections du nez ou du pharynx (végétations adénoïdes, polypes, pharyngites, sinusites, catarrhe tubaire), affections qui n'ont que trop tendance à passer à la chronicité et à engendrer des otites.

Au retour des croisières, les hommes sont de nouveau soumis à une visite médicale de contrôle comprenant les mêmes examens qu'au départ.

PROPHYLAXIE DE LA TUBERCULOSE. — On conçoit

sans peine le danger qu'il y aurait à embarquer par mégarde un ou plusieurs tuberculeux à bord d'un sous-marin : dans ce milieu débilitant, à l'atmosphère confinée où les causes de fatigue sont nombreuses (1). Aussi, recommande-t-on d'écarter, non seulement les hommes qu'une affection antérieure ou un examen radiologique pourrait faire considérer comme suspects, mais encore les jeunes gens de moins de 18 ans. De 18 à 20 ans, il est indispensable de n'embarquer que des sujets vigoureux, en parfait état de santé, indemnes de tout antécédent familial ou personnel douteux. De plus, pendant les croisières, il est indiqué, chaque fois que les escales le permettent, de mettre en observation et de radioscopier les hommes surmenés, amaigris ou porteurs d'une affection des voies respiratoires, si légère soit-elle. Au moindre doute, on fera pratiquer une bacilloscopie et on n'hésitera pas à faire rapatrier le malade suspect d'imprégnation tuberculeuse. Ces mesures, appliquées d'ailleurs sur les bâtiments de surface, et dont la nécessité est absolue sur les sous-marins, ont fait tomber à un chiffre très bas le pourcentage des cas de tuberculose constatés au cours du service.

A la 4^e Escadrille, sur un effectif global d'environ 1.100 hommes, ont été constatés et vérifiés bactériologiquement :

(1) Il n'a pas été constaté à bord de cas probants de contagion tuberculeuse bien qu'on l'ait écrit. Quatre cas de tuberculose ont éclaté, il y a quelques années, sur un sous-marin en croisière. L'enquête montra qu'ils devaient être imputés à des réveils de lésions tuberculeuses anciennes et surtout que la sélection des hommes au départ avait été notoirement insuffisante.

En 1937.....	8 cas de tuberculose.
En 1938.....	6 » »
Pendant les 4 premiers mois de 1939.....	1 » »

La morbidité annuelle au port de Brest pour tuberculose pulmonaire a été, de 1920 à 1930, pour le personnel militaire de la Flotte, de 8,15 cas pour 1.000 hommes, à la même époque le chiffre correspondant pour l'ensemble de la Marine (personnel militaire) était de 5,4; à bord des sous-marins il n'était que de 3,2 pour 1.000 hommes de 1925 à 1935 : ce chiffre exprime suffisamment à lui seul l'intérêt de la sélection.

QUATRIÈME PARTIE

ACCIDENTS - SÉCURITÉ - SAUVETAGE

Certains sous-marins furent le théâtre de tragédies retentissantes, nous l'avons vu au début de cette étude. On ressent encore l'effroi inspiré par ces catastrophes lorsqu'on se représente l'agonie désespérée des victimes : les hommes sont plongés dans l'obscurité complète, l'atmosphère devient rapidement irrespirable ; aucune issue n'est possible, les lourds panneaux sont bloqués par l'énorme pression de la mer ; des sauveteurs impuissants entendent pendant de longues heures les appels déchirants qui s'affaiblissent, puis s'éteignent...

Nous possédons aujourd'hui des moyens capables de prévenir la plupart des dangers dont l'imagination populaire, souvent mal informée, entoure la navigation sous-marine. En cas d'accident, d'ingénieux dispositifs de sécurité permettent de limiter les dégâts et de conjurer la catastrophe. Il nous a paru intéressant de nous étendre un peu sur la question du sauvetage individuel : elle a fait l'objet d'un très grand nombre de travaux mais constitue encore un terrain mouvant sur lequel il convient de n'avancer qu'avec une prudente circonspection. Toutefois les problèmes physiologiques qu'il pose et les espérances qu'il autorise méritent au sauvetage une place dans ce travail.

CHAPITRE PREMIER

ACCIDENTS • DISPOSITIFS DE SÉCURITÉ

Les accidents graves sont devenus rares de nos jours (1) grâce à la valeur technique du personnel et aux multiples perfectionnements apportés au matériel que viennent doubler en cas de défaillance des dispositifs de sécurité : de nombreux appareils dans le détail desquels nous n'avons pas à entrer permettent à tout instant de corriger une fausse manœuvre. Les dangers sont ainsi prévenus dès la construction. Sur ce terrain notre Marine a fait des efforts couronnés d'un plein succès.

VOIE D'EAU. — Cette avarie est la plus redoutable pour un sous-marin : la flottabilité déjà faible en surface s'annule en plongée, aussi la moindre voie d'eau entraîne-t-elle infailliblement la perte du bâtiment si l'on ne peut lui opposer de puissants remèdes.

(1) Si les accidents sont rares en temps de paix, il faut savoir qu'en période d'hostilités les sous-marins seraient peut-être plus exposés qu'ils ne l'ont été de 1914 à 1918 en raison des multiples moyens de détection qui les décèlent et des ennemis sans cesse plus nombreux capables de les détruire.

La pénétration de l'eau est due, le plus souvent, à un défaut d'étanchéité de la coque épaisse, à l'ouverture intempestive d'un panneau ; un incident de navigation (échouage, abordage), en temps de guerre un coup de canon ou l'effet d'une explosion sous-marine (grenade, mine) peuvent aussi provoquer l'accident.

Le danger croît avec la profondeur (1), aussi le débit de l'eau qui s'engouffre à l'intérieur du bâtiment a-t-il tendance à augmenter rapidement puisque le sous-marin alourdi d'instant en instant s'enfonce sans arrêt ; on dispose donc d'un temps très court pour éviter la catastrophe.

Plusieurs procédés sont capables de ralentir la descente, puis de faire émerger le sous-marin ; ce sont :

a) *L'obturation de l'orifice par tous les moyens* ; les hommes doivent agir avec sang-froid et décision, être entraînés à manœuvrer les yeux fermés tous les opercules d'obturation et chercher à aveugler la voie d'eau avec tout ce qu'ils ont sous la main malgré la trombe qui les repousse. Si la rentrée d'eau est trop importante, on évacue le compartiment sur l'ordre du Commandant après avoir ouvert les aspirations du drain à la cale du local envahi. Le chef de compartiment sort le dernier ;

b) *La mise en jeu des pompes d'épuisement*. — Ces pompes sont disposées dans les compartiments extrêmes ; elles aspirent dans un drain qui court de l'avant

(1) Le débit d'une voie d'eau est directement proportionnel à la racine carrée de la profondeur d'immersion. Une ouverture d'un décimètre carré laisse pénétrer 720 tonnes d'eau à l'heure à 20 mètres et 1.100 tonnes à 50 mètres.

à l'arrière du bâtiment et refoulent à la mer. Ce sont des turbines entraînées électriquement; elles doivent fonctionner quelle que soit l'immersion, mais leur débit varie évidemment en raison inverse de la profondeur : capables de débiter 250 à 300 tonnes à l'heure à une faible immersion, elles ne refoulent plus que 30 tonnes à 80 mètres ;

c) *La chasse d'air comprimé aux ballasts.* — Ce moyen est des plus précieux. En « chassant partout », le sous-marin envoie de l'air comprimé à 180 kg. dans tous les ballasts et remonte rapidement. Toutefois la quantité d'eau refoulée par seconde diminue lorsque la profondeur augmente, aussi ne faut-il pas attendre le dernier moment pour mettre en œuvre la chasse générale ;

d) *Le langage des plombs de sécurité.* — On appelle plombs de sécurité, des masses trapézoïdales d'une vingtaine de tonnes, situées sous la quille vers le milieu du bâtiment. On peut les libérer du poste central par la simple manœuvre d'un levier : cette opération allège le sous-marin et constitue un suprême moyen de sauvetage ; il ne faut bien entendu l'employer qu'à la dernière extrémité car, privé de ses plombs, le bâtiment ne peut plus s'immerger et perd du coup sa valeur militaire.

EXPLOSION ET INCENDIE. — Nous avons expliqué que leurs risques proviennent surtout du dégagement d'hydrogène des accumulateurs (accidents de la *Néréide*, du *Souffleur*, du *Caïman*). Nous ne reviendrons pas sur les précautions multiples destinées à restreindre

ce dégagement et surtout à empêcher l'accumulation d'hydrogène. Il faut, avant tout, par une ventilation énergique, éviter la formation de poches gazeuses : ces poches disséminées dans le bord ont causé le curieux accident du *Caïman* à la fin d'une plongée fictive. Une étincelle avait suffi pour les enflammer et l'on put voir de véritables feux follets se répandre et porter l'incendie de part et d'autre.

Toutes précautions sont prises pour éviter l'introduction, sous une forme quelconque, de feu à bord (en particulier interdiction absolue de fumer). Les courts-circuits sont prévenus par un isolement rigoureux de la batterie et des câbles ; il est dangereux de manier des objets métalliques dans le local des accumulateurs : les bornes des éléments ne sont pas isolées et sont assez rapprochées pour qu'un objet de petite dimension crée un court-circuit franc entre les deux pôles, l'élément se décharge alors brusquement, ce qui détermine une violente étincelle capable de brûler grièvement les hommes et de provoquer une explosion redoutable.

Contre l'incendie sont prévus :

a) Un certain nombre d'extincteurs à mousse et à poudre fixés contre les cloisons des compartiments : il est indispensable que tout membre de l'effectif connaisse les emplacements précis et le fonctionnement de ces extincteurs ;

b) Des colonnes montantes partant du collecteur d'assèchement sur lesquelles peuvent s'adapter des manches d'arrosage.

Dès l'alerte les dispositions suivantes seront prises :

Si l'incendie est dû à un court-circuit, le premier soin sera d'ouvrir les interrupteurs situés entre la batterie et les câbles où le feu a pris naissance.

Dès la découverte du foyer d'incendie, la ventilation sera stoppée, la batterie complètement isolée ; les panneaux, les portes inutiles, les vannes de ventilation, les robinets des porte-voix seront fermés pour éviter l'arrivée d'air frais ; l'air comprimé et l'oxygène seront évacués à l'extérieur, les soutes à pétrole vidées à la mer.

On essaiera d'étouffer le feu avec les extincteurs, puis avec des objets quelconques (vêtements, couvertures, hamacs, etc...) Si l'on dispose de bouteilles d'acide carbonique, on pourra faire dégager leur contenu.

Si ces moyens se révèlent insuffisants, on utilisera l'eau douce en vidant une caisse à la cale et en aspirant cette eau par le collecteur d'assèchement. L'eau de mer ne devra être employée qu'à la dernière extrémité en raison des dégagements de chlore qui pourraient se produire par contact avec les accumulateurs.

ELECTROCUTION. — Les risques d'électrocution sont surtout nombreux avec le courant continu de moyen voltage qui ajoute aux accidents cardiaques des bas voltages les phénomènes respiratoires des hautes tensions. Des précautions spéciales doivent être prises pour assurer un parfait isolement surtout en raison de l'humidité ambiante. Le personnel électricien ne devra jamais perdre de vue que la vie à bord est d'autant plus facile et d'autant plus sûre que la batterie, les câbles et les objets métalliques qu'il manipule sont mieux isolés.

ACCIDENTS DE NAVIGATION. — Nous y avons fait allusion en parlant des voies d'eau. Ces accidents peuvent se produire en temps de paix (abordage accidentel, échouage, engagement du bâtiment sous une roche, etc...) et surtout en période d'hostilités (abordage par patrouilleur, mines, torpilles, grenades, engagement dans un filet, etc...). Nous n'avons pas à entrer ici dans les détails techniques relatifs aux dégâts produits et aux remèdes à leur opposer : nous nous contenterons d'envisager la conduite à tenir pour assurer la survie de l'équipage, le renflouage du bâtiment et le sauvetage individuel si ce dernier est impossible (1).

Prolongation de la plongée. Survie de l'équipage. — Nous supposons que le sous-marin a subi des avaries telles qu'il se trouve dans l'impossibilité de remonter à la surface ; encore faut-il, pour que la question présente un intérêt, que le bâtiment ait coulé à une profondeur compatible avec la résistance de sa coque épaisse et que le compartimentage ait limité la pénétration de l'eau. Dans ces conditions, les survivants doivent, en attendant la mise en jeu des dispositifs de renflouage ou des moyens d'évasion, assurer leurs échanges respiratoires.

Les catastrophes sous-marines ont prouvé que des hommes ont pu survivre très longtemps. Lors de l'accident du *Farfadet*(1905) des appels étaient encore entendus après 39 heures ; les signaux désespérés de l'*U-30* coulé dans le port d'Emden en 1914 ne cessèrent qu'au

(1) On lira avec fruit et intérêt les captivants récits de la guerre sous-marine écrits, pour la plupart, par des officiers de la Marine allemande (PAYOT) : voir bibliographie.

bout de deux jours et les naufragés du sous-marin américain S-4 donnèrent signe de vie pendant 74 heures.

Il est nécessaire, pour retarder l'asphyxie, de diminuer à la fois la consommation d'oxygène et le dégagement de gaz carbonique. Il semble bien que le danger réside surtout dans l'augmentation du taux de CO^2 : celui-ci sera difficile à combattre si l'accident a surpris le bâtiment au cours d'une plongée de longue durée, les boîtes à soude étant en partie épuisées. Lorsque la teneur de l'air en CO^2 atteint 1 à 1,5 % de petits troubles apparaissent ; ils progressent rapidement avec l'augmentation du gaz carbonique ; la mort par asphyxie peut déjà survenir à 4 ou 5 % ; les individus capables de résister à ce taux subissent une apathie dangereuse et deviennent incapables de réagir, donc d'assurer leur propre sauvetage. De plus la compression de l'atmosphère nécessitée, comme nous le verrons plus loin, par les manœuvres d'évasion peut réaliser une tension propre du CO^2 incompatible avec la vie ; l'enrichissement parallèle en oxygène ne peut compenser les effets asphyxiques du gaz carbonique.

L'unique conduite à tenir pour gagner du temps en ménageant l'air respirable est de faire mettre le personnel au repos : seuls le Commandant et les hommes strictement indispensables se consacreront aux manœuvres de sauvetage (Du Bois, Naval Medical Bulletin, juillet 1928). On peut aussi, par de petits moyens, restreindre les viciations atmosphériques : mise en caisses hermétiques des légumes frais qui dégagent beaucoup de CO^2 , réduction de l'alimentation, suppression de la cuisine. Pour prolonger l'action des boîtes à soude,

leur contenu sera pulvérisé, répandu sur le parquet, humecté et fréquemment remué : d'ailleurs le plus souvent l'accident aura stoppé la ventilation et force sera de recourir d'emblée à cette opération. On pourrait à la rigueur utiliser l'air et l'oxygène comprimés et, s'ils pouvaient encore fonctionner, mettre en jeu les compresseurs pour refouler l'air vicié dans un ballast de vidange. Si l'air devenait irrespirable (élévation dangereuse de la teneur en CO^2 , émanations de produits délétères : chlore, fumée, etc...), il faudrait utiliser les appareils respiratoires (A. F. M., appareils DAVIS) à réserver autant que possible pour le sauvetage individuel. Les anciens sous-marins allemands étaient munis de régénérateurs « Westphalia » capables de neutraliser par un mélange alcalin une quantité de CO^2 supérieure au dégagement d'un homme en dix heures.

Toutes ces mesures doivent retarder au maximum l'asphyxie et par conséquent faire gagner le temps nécessaire par la mise en jeu des manœuvres de sauvetage.

Renflouage du bâtiment. — Les opérations de renflouage sont toujours extrêmement délicates et surtout très longues. De nombreuses tentatives ont été faites à l'occasion des terribles catastrophes sous-marines auxquelles nous avons fait allusion : elles ont à peu près toutes abouti à un cruel échec :

Le *Lutin* coulé devant Bizerte en 1906 par 36 mètres de fond ne fut renfloué qu'au bout de 13 jours ;

L'*U-30* allemand coulé dans le port d'Emden en 1914 par 40 mètres ne put être ramené en surface avec ses morts qu'au bout de trois mois d'efforts ;

Le sous-marin américain S-51 abordé par un paquebot en 1925 et coulé par 44 mètres au large de l'estuaire de l'Hudson ne fut relevé qu'après un travail incessant de 10 mois.

On pourrait encore citer des exemples : presque toujours les hommes étaient morts lorsque le bâtiment fut renfloué.

On lira dans « La Terreur des mers » par Max VALENTINER (Payot 1931) le curieux récit du relevage de l'*U-3* : ce bâtiment avait coulé en 1911 en rade de Kiel par 13 mètres de fond à 10 heures du matin. A 17 heures on avait réussi à faire sortir presque tous les naufragés par un tube lance-torpille ; trois hommes cependant restaient enfermés dans le kiosque inaccessible ; le bâtiment ne fut renfloué que vers minuit par un navire releveur de sous-marins. Il était trop tard : les trois malheureux venaient de succomber dans l'atmosphère empoisonnée du bord.

Les difficultés du renflouage sont multiples, souvent insurmontables : elles proviennent du repérage qui est long et parfois imprécis, des obstacles créés par la houle et les courants, des imperfections des appareils de relevage.

Pour repérer le sous-marin coulé, on ne peut compter sur les explorations par avions ou dragues. Depuis longtemps on utilise la bouée téléphonique : cet appareil porté dans les superstructures est réuni au bâtiment par un câble téléphonique de 160 mètres : en cas d'accident les survivants larguent la bouée de l'intérieur et signalent de la sorte leur gisement ; grâce à ce dispositif l'*U-3* fut immédiatement repéré et son Commandant

put converser avec les sauveteurs. La bouée téléphonique indiqua l'emplacement du *Prométhée* coulé par 75 mètres le 15 juillet 1932 au large des côtes du Cotentin.

Les mouvements de la mer créent des difficultés considérables : il faut un calme presque absolu pour mener à bien les tractions nécessitées par le relevage.

Quant au renflouage proprement dit, il se heurte à de multiples considérations techniques. Avant la guerre un « dock spécial » avait été construit à Toulon : il était constitué par deux pontons dont l'intervalle laissait place à un sous-marin ; il supportait deux treuils puissants. Cet appareil n'a eu d'utilité réelle que pour les essais de solidité des coques qu'il immergeait à 36 mètres ; il ne pouvait d'ailleurs remonter qu'un poids inférieur à 1.000 tonnes et seulement par temps calme. L'Allemagne possédait un navire releveur de sous-marin : le *Vulkan* qui a pu renflouer l'*U-3* ; il se composait de deux coques reliées à l'avant et à l'arrière ; au-dessus, et assurant leur liaison, un châssis en voûte supportait deux énormes palans. Il existe actuellement en France des docks de relevage spéciaux pour sous-marins à Cherbourg, Toulon et Bizerte. L'utilisation de ces appareils exige un travail préparatoire souvent long, toujours très pénible pour les scaphandriers.

Enfin nous signalons l'allègement par l'air comprimé du bâtiment coulé. Sur les sous-marins allemands un scaphandrier pouvait raccorder des tuyaux d'air comprimé sur le collecteur de chasse. Les sous-marins actuels sont pourvus dans chacun des trois compartiments résistants (avant, milieu et arrière), de robinets

de coque dits de renflouage, manœuvrables à la fois de l'intérieur et de l'extérieur : leur but est de permettre le refoulement de l'eau par air comprimé ; toutefois la chasse d'air ne peut être efficace que si la voie d'eau est à la partie basse du compartiment où l'on opère.

Nous laisserons de côté les autres dispositifs innombrables, imaginés dans toutes les Marines : tous exigent un travail acharné très long, presque toujours infructueux. Les frais énormes, les dangers même du relevage, sont hors de proportion avec le navrant résultat qui consiste à arracher des cadavres à la mer.

Actuellement on ne peut espérer, en dehors de circonstances exceptionnelles, renflouer un sous-marin avec ses survivants. Seul le sauvetage individuel mérite d'être étudié : c'est vers la suppression de ses obstacles physiologiques qu'il convient d'orienter les recherches. Telle est bien l'opinion généralement répandue. L'Amirauté Britannique, estimant le renflouage et le sauvetage collectif impossibles, a publié un communiqué particulièrement net dont nous extrayons quelques lignes : (1)

« Les Officiers et les hommes servant dans les sous-
« marins sont tous exercés à l'usage de l'appareil de
« sauvetage... Si des hommes emprisonnés dans un
« sous-marin coulé croient que des tentatives de ren-
« flouement sont en cours, il est à craindre que, malgré
« leur entraînement à l'usage de l'appareil de sauve-
« tage, ils soient tentés d'attendre la fin des opérations

(1) Communiqué de l'Amirauté Britannique sur la nécessité du sauvetage individuel. Extrait de la *Revue Maritime* 1935, page 96.

« au lieu de se sauver individuellement. Le résultat
« serait qu'une longue attente dans des conditions très
« dures affecterait leurs forces et leur volonté au
« point de les rendre incapables de s'échapper. Car le
« sauvetage au moyen de l'appareil individuel exige
« du sang-froid et de l'énergie et, pour réussir, ne doit
« pas être retardé outre mesure. »

« En conséquence l'Amirauté informe la Flotte
« qu'elle ne conservera pas l'organisation de sauvetage
« actuelle pour le renflouage des sous-marins..... »

« L'Amirauté a regardé la question bien en face. Elle
« n'a aucun espoir de sauver des hommes au moyen du
« renflouage et elle a pris cette décision dans le seul
« intérêt du personnel des sous-marins. »

L'accident tout récent de la *Thétis* (juin 1939) est encore venu souligner les difficultés du renflouage et démontrer une fois de plus l'impossibilité de sauver les survivants par ce moyen.

CHAPITRE II

SAUVETAGE INDIVIDUEL

Les nombreux échecs subis par les essais de relevage ont amené toutes les Marines à étudier de très près le sauvetage individuel. Cette question légitime tous les espoirs, mais se heurte encore à de grandes difficultés : le problème technique est en partie résolu, au moins dans certaines limites que nous préciserons ; il n'en va malheureusement pas de même du problème physiologique qui nous intéresse particulièrement et que nous devons d'exposer avec quelques détails.

HISTORIQUE. — Avant la Guerre, aucun dispositif de sauvetage individuel n'était prévu pour les survivants d'un sous-marin coulé : on croyait encore à la possibilité du relevage. Seuls les tubes lance-torpilles étaient considérés comme pouvant servir d'issue. C'est par ce moyen que les équipages de l'*U-3* furent évacués, non sans difficultés, mais à la faveur de circonstances exceptionnelles.

Le récit suivant, emprunté à l'ouvrage de LOWELL

THOMAS (1), nous a paru intéressant à plusieurs titres : il nous montre en particulier la réalisation rudimentaire d'un sauvetage et nous servira en quelque sorte d'introduction à l'étude des moyens préconisés actuellement.

« Une des aventures arrivées dans les Flandres est de
« celles qu'on ne peut envisager sans terreur : se trouver
« enfermé dans un sous-marin coulé ! C'était un sort
« assez courant pour les corsaires. A bord de presque
« tous les sous-marins coulés, les hommes se sont trouvés
« murés vivants dans leur cercueil de fer et ont péri
« par suffocation lente. A moins qu'ils n'aient hâté leur
« fin. Dans le cas du lieutenant Wenninger et de ses
« hommes, un miracle se produisit, ils purent sortir
« de leur cercueil ».

« La nuit du 22 avril 1918 fut mémorable. C'est cette
« nuit là que les Anglais exécutèrent leur raid héroïque
« sur Zeebrugge ».

« Pendant que cette aventure prodigieuse se déroulait
« à sa base, l'*U B-55* se glissait à travers les barrages du
« Pas-de-Calais, isolé dans la nuit, environné par tous
« les dangers que l'imagination et l'industrie des Anglais
« avaient pu entasser dans cet étroit passage.

« Un patrouilleur surgit dans l'ombre. Le sous-marin
« plonge et se dérobe. Soudain, une explosion étourdis-
« sante, le bâtiment craque et roule brutalement. Les
« lumières s'éteignent. Le navire a touché une mine.
« Il est frappé à mort. Il prend de la bande et coule.

(1) LOWELL THOMAS. *Les Corsaires sous-marins*. (Payot 1930), pages 218-219.

« Il coule sans qu'on puisse le retenir. Une secousse...
« il est arrivé au fond. A l'intérieur, plongés dans
« l'obscurité, les hommes sont paralysés d'horreur. Tous
« sont vivants. Les cloisons ont été ébranlées, l'eau suinte
« dans presque tous les compartiments. Le bâtiment a
« coulé par trente mètres de fond. Tous les moyens
« d'action sont tentés en vain. Le sous-marin ne bouge
« pas ; il est mort ; ce n'est plus qu'une masse de ferraille
« inerte. Tout espoir de remonter en surface est perdu.
« L'eau continue à monter ».

« Un seul espoir : le panneau du kiosque. Malgré des
« efforts désespérés, on ne peut réussir à l'ouvrir. Le bâti-
« ment se remplit. L'air devient plus lourd. Si seulement
« on pouvait ouvrir le panneau ! L'air comprimé chasse-
« rait les hommes comme des projectiles, exactement
« de la manière dont sont lancées les torpilles. Comme
« des torpilles vivantes ils seraient projetés en surface.
« Encore des efforts désespérés. Le panneau s'ouvre
« lentement ».

« Et ainsi, cette nuit-là, une énorme bulle d'air crève
« à la surface noire du détroit ».

« Avec cette bulle des hommes émergent. Vingt
« hommes du sous-marin *U B-55* s'échappent ainsi de
« leur tombeau. Les voilà à la nage. Le patrouilleur
« anglais qui a obligé le sous-marin à plonger, et a ainsi
« causé sa perte, n'est plus en vue. Il y a encore de longues
« heures de nuit à passer et ce n'est qu'au petit jour que
« les rescapés peuvent espérer être aperçus et repêchés
« par un des nombreux navires anglais qui patrouillent
« le Pas-de-Calais. Pendant des heures, ces malheureux
« luttent et nagent. Quelques-uns, épuisés, coulent et

« vont rejoindre leur bâtiment. Les autres, six en tout, « y compris le Commandant, tiendront jusqu'au jour et « seront sauvés par un bâtiment anglais ».

PRINCIPES DU SAUVETAGE INDIVIDUEL

Les opérations de sauvetage se résument, pour chaque naufragé, en deux phases essentielles :

A. — Sortir du sous-marin coulé ;

B. — Remonter à la surface sans danger d'asphyxie.

Nous allons envisager ces deux problèmes.

A. — ÉVACUATION

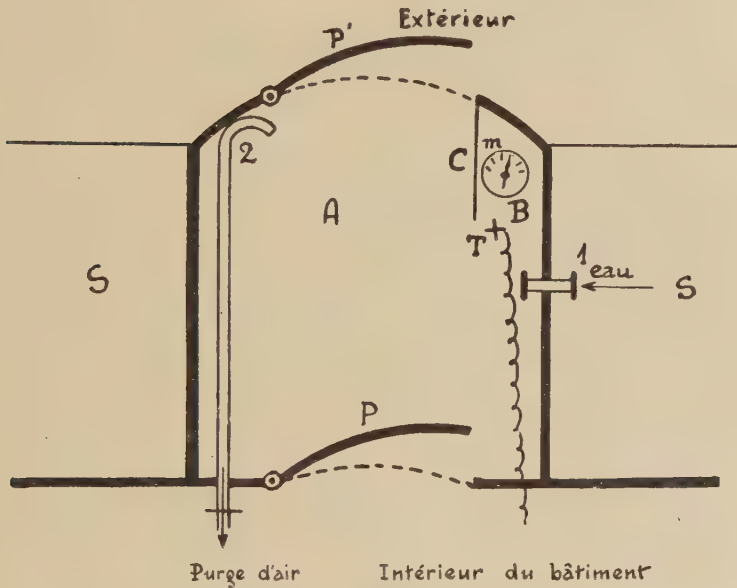
Le problème de la sortie d'un sous-marin coulé repose avant tout sur des considérations d'ordre mécanique ; il est actuellement résolu.

On sait que la pression intérieure du bâtiment est voisine de la pression atmosphérique ; la pression extérieure, d'après le principe de Pascal, est égale au poids d'une colonne d'eau de mer correspondant à l'immersion, ce qui fait sensiblement par centimètre carré un nombre de kilogrammes égal à la profondeur exprimée en dizaines de mètres. Il faut donc, pour pouvoir ouvrir les panneaux, égaliser la pression de part et d'autre. Deux dispositifs ont été prévus à cet effet :

SAS DE SCAPHANDRIER. — On désigne par ce terme un compartiment fermé par deux portes étanches, situé à l'arrière du kiosque et capable de contenir trois ou

quatre hommes. Le compartiment peut constituer à sa partie supérieure une sorte de cloche à air dont le rôle est d'assurer sans à-coup les modifications de pression.

SAS DE SCAPHANDRIER



P, P' : Panneaux inférieur et supérieur étanches, tous deux manoeuvrables du sas et de l'intérieur du sous-marin.

A : Compartiment principal du sas.

B : Compartiment secondaire (cloche à air).

C : Cloison séparative.

T : Téléphone.

M : Manomètre.

S : Superstructures.

En réalité, le sas a été surtout conçu pour permettre à un scaphandrier, muni d'un appareil autonome, de sortir du bâtiment pour effectuer un travail quelconque

ou réparer une avarie. Mais il peut également servir en cours de sauvetage à la sortie de l'équipage. Voici par quelles séries d'opérations les naufragés peuvent, avec un minimum de dangers, s'enfermer, *être comprimés à la pression correspondant à la profondeur, puis s'évader* :

a) L'homme ayant ouvert P, tandis que P' est fermé, pénètre en A où règne la pression intérieure du sous-marin ;

b) P est fermé ; on ouvre le robinet 1 : l'eau de mer pénètre dans le sas, chasse l'air de A par la purge 2 : A se remplit d'eau complètement ce qui assure l'égalité de pression de part et d'autre du panneau P'. Grâce à la cloison C l'extrémité supérieure de B se transforme en cloche à air. L'homme a la tête en B dans l'air comprimé à la pression extérieure et y revêt l'appareil respiratoire ;

c) Par téléphone, il signale qu'il est prêt à quitter le sas, puis passe de B en A, ouvre P' et sort ;

d) P' est fermé de l'intérieur du bâtiment ; l'eau du sas est vidangée. Les manœuvres peuvent de nouveau être répétées.

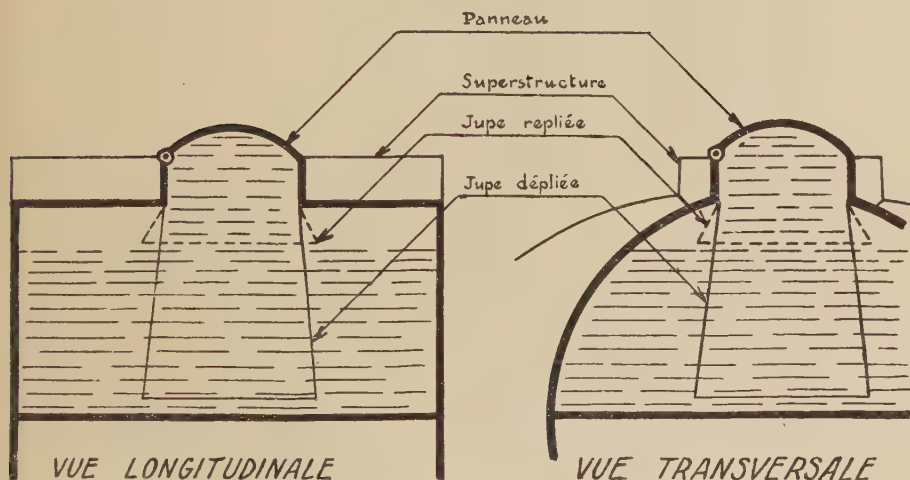
Le sas a l'avantage de ne soumettre que pendant peu de temps les naufragés à une atmosphère sous pression, mais son exigüité rend très longue l'évacuation totale de l'effectif.

JUPE TÉLESCOPIQUE. — C'est une collerette en tissu imperméable, installée à demeure sous chaque panneau. Repliée en temps normal, cette jupe peut, en cas de

nécessité, être disposée en un tube étanche capable de transformer le compartiment correspondant en un véritable sas de grandes dimensions.

Les opérations à effectuer, plus simples que dans le cas précédent et communes à tout l'effectif, se résument ainsi :

JUPE TÉLESCOPIQUE



a) Par l'ouverture d'une prise on introduit de l'eau de mer dans le local ; cette eau comprime à la partie supérieure une couche d'air où les occupants peuvent avoir la tête à découvert et mettre leurs appareils de sauvetage. Les dimensions du compartiment rendent la compression assez lente pour qu'il ne s'ensuive aucun trouble appréciable. Si, en raison de la profondeur, la pression était telle que la couche d'air soit trop mince, une certaine quantité d'air comprimé pourrait, avec précaution, être dégagée ;

b) On évacue par un robinet prévu à cet effet la poche d'air contenue dans le tube ;

c) L'équilibre de pression étant réalisé de part et d'autre du panneau, celui-ci est ouvert ;

d) Les hommes n'ont plus qu'à sortir à tour de rôle en se baissant pour passer dans la jupe.

L'avantage de ce dispositif sur le sas réside dans la rapidité de l'évacuation du personnel.

B. — REMONTÉE

Le problème technique de l'évacuation, nous venons de le voir, est résolu. Mais une fois sorti du navire coulé, il faut pouvoir remonter à la surface sans risque d'asphyxie : c'est alors qu'intervient le point de vue physiologique que nous étudierons dans ce chapitre.

Dès sa sortie du sous-marin, l'homme est littéralement projeté à la surface puisqu'il passe d'une atmosphère en surpression à l'air libre. Aussi a-t-on pensé que pour les faibles profondeurs la remontée pourrait se faire sans appareils ; il suffirait de retenir sa respiration pendant quelques instants. En réalité, les choses sont moins simples. Avant d'aborder ce problème et tous ceux qui lui sont liés, nous préférons étudier brièvement les données physiologiques qui en sont les bases.

BASES PHYSIOLOGIQUES. — En atmosphère libre, l'homme est soumis à une pression de 1 kilog par centimètre carré, soit environ 15.000 kilogs ; aucune

gène ne s'en suit par suite de l'équilibre établi par l'air respiré.

Séjour dans l'air comprimé. — L'air comprimé est-il dangereux pour l'organisme ? Sous la réserve d'éviter une compression trop brusque (coup de bélier), on peut dire que les êtres vivants supportent très bien les fortes surpressions. GUGLIELMINETTI (Génie civil, 3 octobre 1931, tome XCIX, N° 14, p. 340) a constaté que sous une pression correspondant à 3.000 mètres de profondeur les muscles de la grenouille réagissent normalement : les nerfs ne semblent perdre leur excitabilité qu'à 4.000 mètres ; l'animal ne meurt qu'après un séjour de 10 minutes à 500 atmosphères (5.000 mètres). L'incompressibilité des tissus est donc la meilleure protection des organismes vivants ; mais, lorsque la structure moléculaire est attaquée, le danger apparaît. L'homme supporte sans inconvénient une compression rapide de 2 kilogs environ par minute lorsque les oreilles et le nez sont en bon état. Pour éviter les malaises qui pourraient provenir d'une inégalité de pression de part et d'autre du tympan, il est recommandé de faire un brusque effort d'expiration, narines pincées et bouche fermée, et d'avaler coup sur coup sa salive en serrant les mâchoires.

Quant aux échanges respiratoires, il suffit, pour qu'ils ne soient pas modifiés, que l'air inspiré ait une pression égale à celle de l'eau environnante. Les gaz de l'air comprimé se dissolvent dans les tissus : les graisses, en particulier, renferment bientôt une quantité importante d'azote.

S'il n'y a pas, pratiquement, de danger d'ordre méca-

nique, il y a lieu, par contre, de craindre la toxicité de l'air comprimé. L'azote est un gaz inerte, mais l'acide carbonique et surtout l'oxygène sous pression se comportent comme des poisons violents. L'oxygène a ainsi une toxicité propre : il devient dangereux dès qu'il est comprimé à plus d'une atmosphère. La pression critique paraît osciller entre 2,5 et 3,5 atmosphères pour trente minutes de respiration : des animaux à 3,5 atmosphères meurent rapidement après avoir présenté des convulsions analogues à celles produites par la strychnine ; ces troubles reconnaissent bien pour origine l'oxygène car, à tension égale, ils sont d'autant plus précoces que l'atmosphère en contient davantage (LANGLOIS) ; d'autres animaux succombent par azotémie massive (BOUNHIOL, Académie des Sciences, 1929) (1). Chez l'homme, l'oxygène sous pression détermine également des troubles : picotement des doigts et des orteils, tremblements, contracture des mâchoires, raideurs musculaires, crampes, bradycardie. Si l'intoxication se prolonge, l'attaque de la muqueuse des alvéoles aboutit à un processus congestif (JOHNSTON, Archives de Médecine Navale, 1931, N° 3). Des cas de congestion pulmonaire et de pneumonie (2) ont été signalés chez des plongeurs descendus à plus de 80 mètres ; aussi la Marine anglaise a-t-elle interdit toute plongée au-delà de 60 mètres avec les scaphandres à air

(1) BOUNHIOL. Respiration en milieux suroxygénés. *C. R. Académie des sciences*, t. CLXXXVIII, page 1340, 1929. *C. R. de la Soc. Biol.*, t. CL, page 684, 1929.

(2) J. LORRAIN SMITH. The pathological effects due to increase of oxygen tension in the air breathed. *The Journal of Physiology*, vol. XXIV, page 19, 1899.

comprimé. On lira non sans intérêt dans « l'Enfer sous l'eau » de H. SAUER (Payot), le curieux récit d'une intoxication massive par l'oxygène à bord d'un sous-marin allemand.

Le gaz carbonique présente également une toxicité proportionnelle à sa teneur dans l'air et à sa tension.

On peut donc conclure que le séjour en atmosphère comprimée sera d'autant moins dangereux que le mélange gazeux sera moins riche en oxygène et en gaz carbonique.

Décompression. Ses dangers. — Pendant le séjour en atmosphère comprimée, des gaz (azote surtout) se dissolvent dans les liquides de l'organisme ; à la faveur de la décompression le dégagement gazeux va s'opérer entraînant, s'il est brutal, des accidents plus ou moins sérieux. Ce point conditionne tout le problème pratique de la remontée.

Paul BERT (1) a étudié tout particulièrement le mal dit « des plongeurs », appelé encore « mal des caissons ». Il est dû à la décompression qui libère des bulles gazeuses ; celles-ci envahissent le sang et créent des désordres variés. Les symptômes peuvent être très bénins (« puces » et « moutons » des scaphandriers), mais souvent ils sont graves ; on distingue alors :

Des phénomènes circulatoires par embolie gazeuse : arythmie, cyanose, syncope qui peut être mortelle ;

Des phénomènes pulmonaires : hémoptysie, dyspnée, asphyxie ;

(1) Paul BERT. *La Pression Barométrique*, Paris 1878.

Des troubles nerveux par dilacération tissulaire (embolie extra-capillaire ou extravasation sanguine): courbature, asthénie, paralysies, aphasie, cécité, vertiges, mort subite ;

Des manifestations digestives dues à l'expansion des gaz intestinaux : nausées, syndrome solaire ;

Des troubles divers : de la peau (taches ecchymotiques, démangeaisons), ou des muscles (myalgie), etc...

Ces accidents sont d'autant plus graves :

1) Que la profondeur, donc la pression, était plus grande ;

2) Que le temps du séjour à cette profondeur a été plus long ;

3) Que la remontée et, par conséquent, la décompression ont été plus rapides.

Ces faits nous montrent d'ores et déjà quelles précautions doivent être prises au cours du sauvetage : nécessité d'accélérer les manœuvres d'évasion pour diminuer le séjour en atmosphère comprimée, lenteur de la remontée, obligation, si la décompression a été trop brusque, de placer les naufragés dans une chambre de recompression.

Règles de décompression. — On peut prévenir et éviter, à coup sûr, les accidents de décompression en observant les règles scientifiquement établies par HALDANE à l'usage des scaphandriers. Le principe est de remonter par étapes : le nombre de celles-ci et la durée des arrêts sont d'autant plus grands que la profondeur atteinte était elle-même plus grande et le séjour plus prolongé. Il est recommandé de faire des mouvements respira-

toires amples et réguliers pour faciliter l'élimination gazeuse par les poumons (bien entendu, les naufragés ne peuvent appliquer ces règles que s'ils sont munis de l'appareil respiratoire et s'ils peuvent se retenir le long de l'orin de la bouée de sauvetage, dispositifs dont nous parlons plus loin).

Les règles de décompression sont précisées dans l'échelle de HALDANE qui indique les arrêts à effectuer, leur durée, le temps total de remontée suivant les profondeurs et le temps d'immersion.

Nous donnons ici un aperçu de ces règles :

Profondeurs d'immersion	Temps passé en atmosphère comprimée	Temps d'arrêt aux profondeurs de :
20 mètres	De 0 à 30 minutes. Au-delà de 30 minutes.	Remonter main sur main. 2 arrêts à 6 et 3 mètres de 5 à 10 minutes.
30 mètres	Jusqu'à 10 minutes. Jusqu'à 30 minutes. Au-delà de 30 minutes.	Remonter main sur main. 2 arrêts à 6 et 3 mètres de 5 à 15 minutes. 3 arrêts à 9, 6 et 3 mètres de 5, 10 et 15 minutes.
40 mètres	5 minutes. De 5 à 30 minutes.	Remonter main sur main. 3 arrêts à 9, 6 et 3 mètres de 5, 10 et 15 minutes.
50 mètres	5 minutes. De 5 à 15 minutes.	2 arrêts à 6 et 3 mètres de 2 à 5 minutes. 5 arrêts à 15, 12, 9, 6 et 3 mètres de 2, 3, 4, 6 et 10 minutes.
60 mètres	5 minutes. 12 minutes.	3 arrêts à 9, 6 et 3 mètres de 1, 3, 5 minutes. Remonter main sur main jusqu'à 18 mètres, puis arrêt tous les 3 mètres pendant des temps croissant de 2 à 10 minutes.
80 mètres		Remonter main sur main jusqu'à 35 mètres, puis arrêt tous les 5 mètres jusqu'à 15 mètres et tous les 3 mètres jusqu'à la surface, temps d'arrêt croissant de 2 à 10 minutes.

Il nous a paru également intéressant de donner deux exemples précis pris dans les tables de HALDANE.

Profondeurs	Temps passé sous l'eau jusqu'au début de la remontée	Arrêt (en minutes) aux différentes profondeurs						Temps total de la remontée (en minutes)
		18	15	12	9	6	3	
23 mètres 70 à	Jusqu'à 10 minutes...						3	5
	De 10 à 20 minutes...						5	7
	De 20 à 30 minutes...					3	8	13
	De 30 à 40 minutes...					4	13	19
25 mètres 60	De 40 à 45 minutes...					5	15	22
	De 45 à 55 minutes...					8	16	26
	De 55 à 65 minutes...					9	18	29
	De 65 à 75 minutes...					10	20	32
58 mètres 50 à 62 mètres	Jusqu'à 7 minutes...		2	2	3	5	5	20
	De 7 à 12 minutes....	2	2	3	5	7	10	32

Telle est la théorie établie avec précision et suivie pour la remontée des scaphandriers. Mais peut-elle être appliquée rigoureusement en cas d'évasion d'un sous-marin coulé ?

En réalité, ces règles ne peuvent être appliquées que pour la remontée des scaphandriers ; trop d'obstacles s'opposent à ce qu'il en soit de même en cas de sauvetage : un naufragé ayant réussi à sortir du bâtiment remontera, volontairement ou non, aussi vite qu'il lui sera possible et se trouvera placé dans le cas du scaphandrier qui fait « ballon », c'est-à-dire qui remonte accidentellement et qui, par suite de la décompression brusque, s'expose à une série d'accidents. C'est précisément en cela que réside la principale difficulté du sauvetage.

APPAREILS RESPIRATOIRES AUTONOMES. — Avant d'aborder l'étude pratique de la remontée, il con-

vient de jeter un regard sur l'appareillage prévu à cet effet.

En 1919, on appliqua pour la première fois le principe du scaphandre autonome au sauvetage : un appareil individuel, le « Boutan » fut expérimenté avec succès et permit à un homme de s'évader d'un sous-marin par ses propres moyens. Un dérivé du « Boutan », dit « E.M.C. » fut ensuite étudié puis rapidement abandonné à la suite d'un accident.

L'emploi des superscaphandres ne peut être envisagé en raison de leurs dimensions et de l'encombrement qu'ils créent à bord d'un sous-marin.

La plupart des Marines ont mis au point des appareils de sauvetage légers (5 à 6 kgs) et pratiques.

Les appareils « Le Prieur » (France), « Lung » ou « Poumon » (Etats-Unis), « Davis » (Grande-Bretagne, « Draeger » (Allemagne), « Belloni » (Italie), sont les plus connus.

Ils fonctionnent à peu près tous sur le même principe ; la respiration se faisant sur circuit fermé d'oxygène, ils permettent le libre usage des membres et constituent, en surface, un moyen de flottabilité qui permet d'attendre l'arrivée des secours.

APPAREIL « DAVIS ». DESCRIPTION. — Construit par DAVIS, directeur de la firme SIEBE GORMAN (Londres), cet appareil, appelé également D.S.E.A., a donné entière satisfaction au cours d'exercices d'entraînement individuel. Il a même permis de sauver trois hommes lors du naufrage du sous-marin anglais *Poseidon*, coulé en

1931 à l'embouchure du Yang-Tsé-Kiang, par 30 mètres de fond (1).

Aussi a-t-il été adopté par la Marine française en 1931 : chaque sous-marin devrait en posséder un nombre au moins égal aux $4/3$ de son effectif.

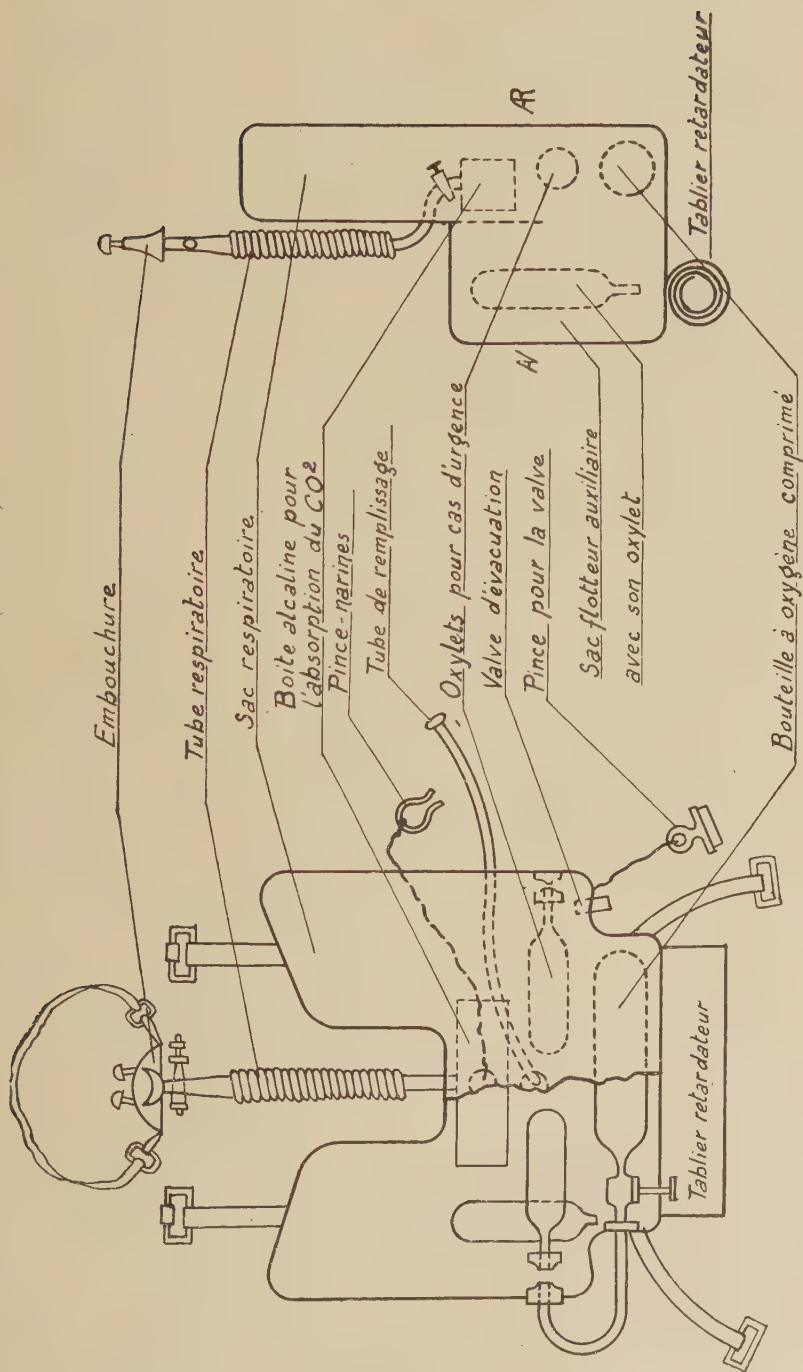
Le « Davis » est essentiellement constitué par un sac respiratoire en toile caoutchoutée d'une capacité de 8 litres. Une bouteille en acier contenant environ 56 litres d'oxygène comprimé à 120 atmosphères est placée à l'extrémité inférieure du sac ; deux petits oxylets de secours contenant 3 litres 500 d'oxygène et pouvant tenir pendant 7 minutes chacun sont annexés à cette bouteille. A l'intérieur et à la partie supérieure du sac, se trouve une boîte à chaux granulée capable d'absorber 38 litres de CO^2 . Un tube flexible met en communication cette boîte avec une embouchure placée entre les lèvres et les gencives du porteur ; un pince-narines a été prévu pour que la respiration s'effectue exclusivement par la bouche. A l'avant du sac, un flotteur auxiliaire peut être gonflé par un oxylet d'air comprimé placé latéralement. Sous ce flotteur est roulé un tablier dit retardateur : étendu horizontalement pendant l'ascension, il oppose une résistance considérable à l'eau et ralentit la remontée. Enfin, des courroies et ceintures réglables permettent la fixation de l'appareil au cou et autour du corps.

Ainsi conçu, cet appareil peut servir non seulement de moyen de sauvetage, mais encore de masque anti-gaz

(1) Cinq hommes purent, grâce au « Davis », s'évader du sous-marin, mais deux des rescapés moururent après leur retour en surface.

APPAREIL DAVIS (Schéma)

— 275 —



autonome (1) et d'appareil respiratoire pour plongée profonde (ajouter dans ce cas une ceinture lestée).

Mode d'emploi. — Pour utiliser correctement l'appareil de sauvetage, on effectuera les opérations suivantes :

1^o Fixer l'appareil sur la poitrine en réglant la longueur des courroies de manière que l'embouchure étant placée entre lèvres et gencives, le tube flexible permette les libres mouvements de la tête ;

2^o Fixer l'embouchure, comme il est dit, les dents serrant les deux tétons. Passer autour de la tête, au-dessus des oreilles, le ruban élastique maintenant le tout sur la face, puis ouvrir le robinet ;

3^o Inspirer par la bouche et expirer par le nez de manière à vider tout l'air du sac ;

4^o Ouvrir doucement le robinet de la bouteille et gonfler partiellement le sac. Pour obtenir un courant d'oxygène de la bouteille vers le sac, on doit tout d'abord percer le disque obturateur en tournant la clé du robinet dans le sens des aiguilles d'une montre. On pourra ensuite régler le débit du gaz en tournant le volant en sens inverse ;

5^o Vider de nouveau le sac comme il est dit au 3^o ;

6^o Gonfler le sac partiellement et placer le pince-narines.

Des lunettes sont annexées à l'appareil pour protéger les yeux contre l'eau de mer.

(1) La plongée confère au sous-marin une protection efficace contre l'arme chimique. Pour se protéger contre les bombes asphyxiantes qui peuvent atteindre le bâtiment immergé, l'effectif est doté du masque A. F. M.

Le sac peut être gonflé avec de l'oxygène du bord, grâce à une rampe de distribution.

Avant de sortir du sous-marin, il convient d'essayer l'appareil en s'immergeant pour être certain de son bon fonctionnement.

Pendant la remontée, en manœuvrant la soupape de la bouteille on maintient la pression d'oxygène nécessaire à la respiration.

On peut, en cas de nécessité, utiliser les oxylets.

En surface, le sac de l'appareil peut servir de flotteur ; pour cela, il faut :

- 1° Fermer la soupape de sûreté au moyen du robinet ;
- 2° Fermer le robinet de l'embouchure ;
- 3° Retirer l'embouchure de la bouche.

A défaut du sac respiratoire, le sac flotteur auxiliaire peut assurer la flottabilité : on le remplit par rupture du col de l'oxylet vertical annexé.

Les appareils logés à bord doivent être constamment en état de fonctionner avec leur bouteille d'oxygène chargée à 120 kilogs, les oxylets en place et le régénérateur toujours rempli du produit chimique absorbant (chaux granulée).

Il convient, pour assurer une bonne conservation, d'éviter le contact des matières grasses, du pétrole et de ses vapeurs avec le caoutchouc ; les appareils doivent toujours être placés dans des boîtes métalliques.

ETUDE PHYSIOLOGIQUE DES APPAREILS RESPIRATOIRES. — Ainsi conçus, les appareils respiratoires autonomes doivent assurer d'une manière satisfaisante, semble-

t-il, la respiration sous l'eau. Malheureusement, dans les conditions pratiques du sauvetage, ils ne peuvent franchir les naufragés des modifications de pression : c'est ici le point faible d'où résulte toute la complexité de leur emploi. De nombreux travaux ont été faits sur cette question : nous ne pouvons en donner qu'un bref aperçu. Nous nous baserons surtout sur les observations effectuées au cours d'exercices d'entraînement. (1)

Entraînement individuel. — Dès l'apparition des appareils respiratoires, des exercices d'entraînement furent entrepris ; peu après l'invention du « Davis », les officiers et équipages des sous-marins anglais étaient soumis à des exercices sur le *H. M. S. Dolphin* (avril 1930). En janvier 1931 un officier porteur de cet appareil réussissait à descendre à 130 pieds (42 mètres), à y séjourner 5 minutes et à remonter sans accident.

Aux Etats-Unis on utilise le « Lung » ou poumon artificiel, qui diffère du « Davis » par l'absence de bouteilles à oxygène sous pression : il doit être rempli par les moyens du bord.

Cet appareil a été l'objet de nombreuses expérimentations pour des profondeurs allant jusqu'à 250 pieds (80 mètres environ) ; les conditions d'une catastrophe ont même été réalisées dans certains cas : c'est ainsi qu'on a pu s'évader du sous-marin *S-4* immergé à

(1) Ces observations sont intéressantes au point de vue physiologique, mais il serait prématuré d'en tirer des conclusions trop absolues pour le sauvetage.

100 pieds (32 mètres) puis à 206 pieds (65 mètres) (1).

A 100 pieds on a utilisé la jupe pour l'évacuation ; l'ascension a duré 5 minutes et l'opération a été couronnée de succès. Au-delà de cette profondeur, les expérimentateurs se sont servis du sas pour réduire la durée de leur séjour en atmosphère comprimée.

Des caissons pour exercice de sauvetage et entraînement des hommes ont été construits dans divers centres (New-London, Pearl Harbor, Connecticut, etc....) : hauts de 40 mètres sur 6 mètres de diamètre, ils sont remplis d'eau salée chauffée. Des écluses d'échappement sont prévues à 6 et 16 mètres du sommet. Dans le fond est aménagé un cylindre qui représente un compartiment de sous-marin : une porte y donne accès et un panneau sert aux manœuvres d'évasion. Une cloche à plongeur suspendue par un câble de fil d'acier et mue par un moteur électrique permet aux hommes de descendre à diverses profondeurs (deux expérimentateurs et un instructeur peuvent y prendre place.) A Connecticut les exercices sont conduits de la façon suivante (2) :

L'élève entre dans une chambre de décompression où il est d'abord soumis à une pression de 50 livres (3,8 atmosphères environ) ; sont éliminés à cette première épreuve les sujets atteints de sinusites, otites chroniques, ou imperméabilité de la trompe d'Eustache

(1) MANKIN, Lt-C. Médical corps U.S. Naval Medical Bulletin January 1930. (Rapporté par CAZAMIAN : *Revue Maritime* 1935, page 721.)

(2) L. K. Mac CLATCHIE. Médecin-Lieutenant du Service de Santé de la Marine (Etats-Unis). *Archives de Médecine Navale*, 1932, page 292.

et en général tous ceux qui ne peuvent supporter l'augmentation de pression ; l'élève est ensuite conduit au sommet du réservoir ; il apprend à se servir de l'appareil autonome, et pour cela s'entraîne sur des échelles jusqu'à 5 mètres sous l'eau environ. Si ces exercices sont satisfaisants, il descend dans la cloche à plongeur à 10 puis 18 pieds et remonte le long d'une corde. Ces épreuves sont répétées plusieurs fois. Ainsi entraîné l'élève peut descendre à 50 pieds (16 mètres) : au cours de la remontée, il fait trois arrêts : à 30 pieds, où il compte 10 respirations, à 20 pieds (20 respirations), à 10 pieds (30 respirations). Bien que superflus pour ces profondeurs, ces arrêts sont exigés comme entraînement pour la dernière épreuve qui consiste à remonter de 100 pieds.

En France des installations analogues ont été réalisées, notamment à Toulon. Il serait fort désirable que, malgré le scepticisme de certains à l'égard des procédés de sauvetage, l'entraînement dans notre pays soit plus poussé et conduit d'une manière vraiment méthodique.

Accidents observés au cours d'exercices de sauvetage. — Des Etats-Unis où l'entraînement au sauvetage est particulièrement intensif, nous est venue la notion d'accidents nouveaux. Leur pathogénie est encore discutée, mais de leurs conditions d'apparition découlent des enseignements précieux.

Dans une première série dix accidents se sont produits avec le « poumon » de MOMSEN : deux ont été mortels ; trois autres cas alarmants observés à Pearl Harbor se sont terminés par la guérison.

L'étiologie et les symptômes ont paru identiques : les hommes sont remontés très rapidement ayant lâché la corde ou s'étant hâtés volontairement par crainte de ne pouvoir respirer. Presque toujours ils ont retenu leur respiration.

Il a semblé dans quelques cas que les sujets se sont inconsciemment arrêtés de respirer, en raison de l'appréhension, plusieurs secondes avant de mettre l'appareil respiratoire : peut-être même, certains ont-ils effectué une expiration forcée. Les profondeurs considérées étaient chaque fois faibles, inférieures à 10 mètres et le séjour de très courte durée.

Les troubles ont présenté des caractères communs : ils se sont manifestés après un intervalle libre ; les sujets ont paru tout d'abord normaux et certains ont pu soutenir une conversation pendant une ou plusieurs minutes après leur retour en surface. Les symptômes ont consisté en crampes abdominales, dyspnée, rigidité musculaire, bradycardie, céphalée, refroidissement, convulsions, mydriase, perte de connaissance : en somme état de shock avec rigidité, de durée variable (15 à 30 minutes) : quelques individus sont restés semi-conscients.

La pathogénie a été très discutée : à la lecture des travaux consacrés à ces faits on peut distinguer deux courants d'opinions :

a) Les uns, MAC CLATCHIE (1), BROWN (2) attribuent

(1) MAC CLATCHIE. *Archives de Médecine Navale*, 1932, page 292.

(2) BROWN. *Archives de Médecine Navale*, 1932, page 304.

ces accidents à une distension pulmonaire brutale ; ils invoquent à l'appui de leur théorie, l'expérience classique de VALSALVA : on peut provoquer un vertige et même une perte de connaissance en effectuant une pression brusque sur la poitrine ou les muscles abdominaux après une inspiration profonde suivie de fermeture de tous les orifices respiratoires. Les troubles déterminés par cette expérience ont été étudiés par MOSLER et BALSAMOFF (Uber den Valsalva-Versuch : Klinische Wochenschrift, Sofia, 1924, XII, 291). Ils sont tout à fait comparables aux symptômes observés chez les expérimentateurs de l'appareil respiratoire. L'explication donnée par les auteurs précités est alors la suivante : la remontée rapide détermine chez un individu en apnée une dilatation brusque des alvéoles pulmonaires consécutive à la diminution de pression. Il pourrait y avoir à ce moment tension brusque de l'air alvéolaire dilaté, le sang chassé du cœur gauche passe dans la circulation générale sans augmentation correspondante d'afflux sanguin vers le cœur droit, d'où diminution de la quantité du sang contenu dans le cœur.

En considérant certains symptômes (intervalle libre, céphalée, contractures, convulsions) PLOYÉ (1) se demande si, en plus du facteur circulatoire thoracique, il n'y aurait pas un facteur cérébral dû à l'hypotension brutale du liquide céphalo-rachidien. Cet auteur conseille, à juste titre, d'entreprendre des recherches expérimentales chez l'animal placé dans les conditions du sauvetage.

(1) PLOYÉ. *Archives de Médecine Navale*, 1932, page 312.

Si cette pathogénie du shock par distension pulmonaire est exacte elle doit entraîner, dans la pratique, les considérations suivantes :

la prophylaxie repose sur une remontée lente ; il convient d'éliminer les sujets atteints de cardiopathie ou de troubles circulatoires ; les expérimentateurs doivent s'entraîner à respirer profondément avec l'appareil (1) ;

la distension du sac respiratoire sera évitée par la mise en jeu d'une valve automatique d'échappement : ainsi l'excès gazeux sera rejeté. Il est recommandé de ne pas remplir complètement l'appareil d'oxygène ;

comme traitement la recompression serait inutile, les soins se résument en chaleur, repos, administration de stimulants cardiaques et respiratoires. La respiration artificielle peut être indiquée mais sera toujours pratiquée avec une extrême prudence, car elle peut augmenter l'asphyxie cardiaque alors que les poumons sont surventilés : il faut réduire la période inspiratoire et administrer du carboxygène comme stimulant du centre bulbaire. Enfin dans les cas sérieux, l'administration d'adrénaline, même intraveineuse, pourra donner d'excellents résultats.

b) D'autres auteurs, B. H. ADAMS (2), B. POLAK (3)

(1) L'apnée est peut-être due en partie à l'hyperoxémie massive troublant le bon fonctionnement du centre respiratoire bulbaire puisque l'appareil est gonflé à l'oxygène : aussi serait-il peut-être intéressant de ne pas s'attacher à neutraliser complètement le C O₂ par la soude (CAZAMIAN).

(2) B. H. ADAMS. *Archives de Médecine Navale*, 1932, page 309.

(3) B. POLAK. *Archives de Médecine Navale*, 1932, page 313.

tout en admettant la surdistension pulmonaire, attribuent les accidents à la production d'embolies gazeuses par surpression intra-alvéolaire. A la suite des expériences de HOPKINS et CHILLINGWORTH (1) des recherches ont été entreprises sur des chiens anesthésiés. En laissant de côté les détails expérimentaux, nous croyons intéressant de donner les résultats respectifs de quatre groupes d'expériences méthodiques :

1) l'hypothèse selon laquelle une élévation de pression du sang pulmonaire provoque la défaillance cardiaque s'est trouvée infirmée ;

2) la naissance d'embolies aériennes a été constatée à l'occasion d'une augmentation de la pression intrapulmonaire, puis un emphysème interstitiel extensif, des embolies gazeuses dans les coronaires, la mésentérique, les vaisseaux superficiels du cerveau et les deux ventricules ;

3) si l'on évite une distension anormale des poumons en plaçant un bandage autour du thorax et de l'abdomen on prévient les embolies ;

4) ces troubles ont bénéficié de l'effet thérapeutique de la recompression.

Les cas graves seraient dus à des embolies massives localisées au niveau des centres vitaux (centre respiratoire, circulation coronarienne). VAN ALLEN distingue deux formes cliniques : neuro-musculaire et cardiovasculaire.

(1) Modifications physiologiques produites par les variations de distension pulmonaire. Utilité de la circulation pulmonaire pour surmonter l'obstruction. *American Journal Physiology* 51 289, mars 1920.

Cette pathogénie doit conduire logiquement à la recompression, comme pour les scaphandriers dans le cas du vrai « mal des caissons. » (1) Le malade est placé tête basse : la pression est élevée jusqu'à amélioration des symptômes et sera maintenue peu de temps ; puis la décompression se fera très lentement, par paliers. On peut noter, au début de la recompression, une légère aggravation des troubles, mais cela ne doit pas faire cesser l'opération : on doit au contraire la pousser plus activement. La respiration artificielle, les inhalations de carboxygène, les injections intraveineuses d'adrénaline seront pratiquées s'il y a lieu.

Tels sont les accidents observés au cours de l'entraînement à l'emploi de l'appareil respiratoire. Leur pathogénie n'est pas encore éclaircie : elle appelle d'autres travaux, mais il était intéressant d'exposer la complexité de ces faits pour souligner les difficultés pratiques que comportent les opérations de sauvetage.

Accidents dus à l'emploi de l'oxygène. — La plupart des appareils respiratoires, avons-nous dit, sont gonflés à l'oxygène. L'administration de ce gaz permet de raccourcir du tiers, parfois de la moitié, le temps de remontée des scaphandriers : car, rapidement absorbé par les tissus, l'oxygène n'engendre pas d'embolies

(1) On utilise des appareils dits « chambres de recompression » ; ce sont de grands cylindres d'acier étanches dans lesquels on peut établir assez rapidement une pression déterminée. Ces appareils existent dans tous les Ports et sont en général installés sur de petits bâtiments accompagnant les scaphandriers sur les lieux de plongée.

gazeuses. Par contre on sait que dans le cas du sauvetage, à partir d'une certaine profondeur, ce gaz sous pression est toxique ; aussi, se trouve-t-on placé entre deux dangers : les accidents de décompression et l'intoxication oxygénée. Dans cette seconde éventualité, il ne faut pas se cacher cependant que l'attente dans le sas ou autour de la jupe, c'est-à-dire en atmosphère comprimée, a permis à l'azote de se dissoudre dans les tissus. Aussi est-il indispensable d'entraîner les hommes à remonter lentement. Pratiquement, surtout dans le cas d'un naufrage, on ne saurait compter sur une ascension lente et par paliers. Se représente-t-on l'angoisse morale des naufragés emprisonnés depuis de longues heures dans le sous-marin coulé et n'ayant qu'un désir : se retrouver à l'air libre ? Bien peu, s'il en est, auraient la force d'âme et l'énergie de se soumettre à une pareille discipline que des théoriciens animés des meilleures intentions ont fixée sur le papier. Aussi a-t-on envisagé l'envoi de chambres de recompression amenées par chalands sur le lieu du sinistre, capables de contenir tous les rescapés et destinées à assurer en toute tranquillité la décompression lente et méthodique. — Naturellement ce souhait est encore très théorique : il ne saurait être réalisé qu'en temps de paix, en supposant encore que le sous-marin soit repéré et coulé par des fonds compatibles avec la résistance de la coque épaisse. Ces considérations nous permettent, en quelques mots, d'apprécier toute la distance qui sépare la physiologie expérimentale des nécessités pratiques et militaires.

C. — ÉTUDE PRATIQUE DE LA REMONTÉE

La question du sauvetage, nous le répétons, demande encore, pour être au point, beaucoup d'études : travaux de physiologie expérimentale et entraînement méthodique. On peut toutefois dès maintenant résumer ainsi la conduite à tenir (CAZAMIAN) :

a) A MOINS DE 15 MÈTRES. — Il semble que la remontée puisse se faire sans appareillage : en effet la pression correspondant à 15 mètres est de 2 atmosphères 5, insuffisante, semble-t-il, pour entraîner des embolies gazeuses quelles que soient la durée du séjour sur le fond et la rapidité de la décompression. Pour se mettre à l'abri des accidents de surdistension pulmonaire, il est indiqué de faire une expiration avant de sortir et de rejeter encore de l'air pendant l'ascension.

b) A PLUS DE 15 MÈTRES. — On ne peut prétendre se passer de l'appareil respiratoire. Tout homme embarquant sur un sous-marin devrait être familiarisé avec son mode d'emploi et habitué à le placer correctement dans l'obscurité.

Dès que l'abandon du bâtiment est décidé, on prépare une bouée de sauvetage retenue par un orin et destinée à remonter en surface à l'ouverture du panneau de sortie : son rôle est de tendre une corde jalonnée de nœuds tous les mètres. C'est en se retenant à cette dernière que les naufragés pourront régler la durée de leur ascension.

Les hommes revêtiront des vêtements de laine pour pouvoir supporter un séjour prolongé dans l'eau. Les responsables devront donner au personnel toutes les

instructions nécessaires sur la durée de la remontée. Les manœuvres d'évasion seront conduites aussi rapidement que possible. Si la jupe est utilisée, le compartiment sera mis en équilibre de pression avec l'extérieur, en créant une voie d'eau et en purgeant les groupes d'air comprimé (suivant la profondeur) pour maintenir à la partie supérieure une poche d'air suffisante. Les appareils respiratoires seront placés, puis vérifiés avant l'immersion. Dès que l'équilibre de pression sera réalisé on ouvrira le panneau.

Les hommes sortiront un à un, en bon ordre, prendront à pleines mains l'orin de la bouée de sauvetage et le serreront entre leurs jambes pour se retenir. Le temps de remontée et de séjour aux différents paliers peut être évalué en comptant les mouvements respiratoires. Il est indiqué, aux arrêts, de respirer profondément et de remuer bras et jambes. En l'absence de bouée et d'orin, le tablier retardateur tendu horizontalement avec les deux mains diminuerait notablement la vitesse ascensionnelle.

c) DE 90 A 200 MÈTRES. — A de pareilles profondeurs on ne saurait compter sans imprudence sur les appareils respiratoires : de redoutables inconnues subsistent encore sur la physiologie de l'homme soumis aux pressions correspondantes ; au surplus, si l'on voulait assurer une décompression lente, la durée de la remontée serait interminable, entraînant des fatigues au-dessus de la résistance physique et morale des naufragés.

Au moyen de scaphandres ordinaires, des descentes ont été effectuées jusqu'au voisinage de 100 mètres ;

les expériences, pratiquées surtout en Angleterre, ont été facilitées par la « chambre-relais » imaginée par DAVIS (1). Il s'agit d'un caisson capable de recueillir le scaphandrier et de rendre possible, en cas de nécessité, son retour immédiat et sans danger à la surface : la chambre-relais peut, en effet, servir de local de décompression méthodique ; elle contient un appareil pour inhalation d'oxygène et des médicaments de première nécessité. En 1931 un scaphandrier a pu, grâce à cet engin, effectuer un travail à une profondeur de 344 pieds (environ 110 mètres) : il est remonté sans fatigue « comme quelqu'un qui rentrerait de promenade après déjeuner ».

Cependant cet appareil de trop faibles dimensions pour contenir tout l'effectif, difficile à manœuvrer, paraît incapable d'assurer, tel qu'il est, le sauvetage aux grands fonds : il oriente toutefois vers la solution du problème. CAZAMIAN souhaite l'existence d'un sous-marin spécialement conçu pour le sauvetage et capable de se poser au voisinage du bâtiment coulé : il devrait comporter une chambre de recompression et un sas d'entrée pour les naufragés. C'est une des solutions les plus logiques, mais dont les difficultés techniques de réalisation apparaissent suffisamment pour que nous nous dispensions de les souligner. La cloche de sauvetage utilisée avec succès pour les survivants du *Squalus* paraît, dans cet ordre d'idée, offrir la meilleure solution : nous en reparlerons.

(1) Surgeon Lt Commander PHILLIPS, *Journal of the Royal Army medical Corps*, July 1932.

CHAPITRE III

AUTRES DISPOSITIFS DE SAUVETAGE

De nombreuses inventions ont vu le jour depuis quelques années : leur énumération serait fastidieuse pour ne pas dire inutile, car bien peu d'appareils imaginés sont pratiquement utilisables. Nous citerons simplement pour mémoire quelques-uns des plus intéressants :

ASCENSEUR SOUS-MARIN. — Le Capitaine de Corvette GENOVA a mis au point cet appareil adopté par la Marine espagnole. C'est une bouée résistante dans laquelle on pénètre comme dans un sas : sa flottabilité négative lui permet de ramener les naufragés un à un à la surface ; un treuil actionné par les hommes restant dans le compartiment de refuge la fait redescendre. Ce dispositif évite les changements de pression, mais présente des difficultés de réalisation pratique qui en limitent l'emploi.

ISSUE PAR TUBE LANCE-TORPILLE. — Il y a quelques années, des expériences de sauvetage ont été conduites

avec succès à la Spezzia grâce à un cylindre capable de contenir un homme et de passer par un tube lance-torpille : cet appareil reste en liaison avec le bâtiment par un câble qui le ramène après chaque sauvetage individuel. Vingt-deux hommes purent de cette façon remonter en moins d'une heure et demie d'un sous-marin immergé à 100 mètres. Ce dispositif permet également de pénétrer dans un sous-marin coulé.

APPAREIL BELLONI. — Ce moyen de sauvetage s'apparente à la jupe télescopique ; il comporte :

a) Un tube en acier ou en duralumin, divisé longitudinalement en deux parties pour diminuer l'encombrement ;

b) Une vasque en toile huilée repliable. Le tube s'adapte à un panneau et la vasque est fixée sous l'extrémité du tube : lorsque le tube est mis en communication avec l'extérieur, le niveau de l'eau dans la vasque s'établit un peu au-dessus de l'extrémité inférieure du tube. Les hommes n'ont plus alors qu'à se munir de l'appareil respiratoire, à passer dans la vasque puis à sortir comme par une jupe. Ce dispositif a été expérimenté sur le sous-marin brésilien *Humayta* à la Spezzia ; ses avantages seraient : encombrement et poids négligeables, rapidité de manœuvre, possibilité de passer dans un autre sous-marin posé sur le fond à côté du bâtiment coulé et permettant d'éviter les dangers d'une remontée rapide.

CLOCHE DE SAUVETAGE. — Elle a permis tout récem-

ment (mai 1939), aux Etats-Unis, de sauver trente-trois hommes du sous-marin *Squalus* coulé par 80 mètres.

Ce dispositif se compose de deux compartiments. Le compartiment supérieur contient les organes de manœuvres : un mécanicien et les naufragés y prennent place ; le compartiment inférieur, sans fond, comprend un ballast qui l'entoure complètement : il permet l'adaptation de l'appareil autour d'un panneau du sous-marin.

La cloche est reliée, d'une part, à un bâtiment de surface sauveteur par un double tuyautage d'arrivée et d'évacuation d'air et, d'autre part, au sous-marin coulé par un câble de guidage. Ce câble, préalablement fixé par un scaphandrier, amène directement la cloche à son emplacement. Des dispositifs ingénieux permettent d'égaliser, au moyen d'air comprimé, la pression de la cloche avec celle du sous-marin. Huit naufragés à la fois peuvent être libérés et ramenés en surface.

Cet appareil de sauvetage, le plus perfectionné qui existe, a sauvé, à notre connaissance, le plus de vies humaines. Ses avantages sont multiples : le principal est de supprimer, par l'égalisation des pressions, les difficultés physiologiques de la remontée. Toutefois l'utilisation de la cloche exige des conditions rarement réalisées : absence de houle et de courants capables de gêner l'adaptation de l'appareil, position horizontale du sous-marin coulé. Il faut de plus des équipes de sauveteurs et de scaphandriers spécialement entraînés ; les conditions de réussite limitent les possibilités de sauvetage au temps de paix par mer absolument calme.

Pour intéressante qu'elle soit, la cloche ne saurait supprimer les appareils respiratoires autonomes ; elle

mérite néanmoins l'attention approfondie de tous ceux qui s'intéressent à l'importante question du sauvetage (1).

CONCLUSIONS SUR LE SAUVETAGE

Le sauvetage d'un sous-marin coulé n'est possible que dans un nombre restreint de cas, surtout en temps de guerre. Le renflouage doit être considéré comme irréalisable : seul le sauvetage individuel peut être envisagé.

La technique de l'évasion est actuellement au point avec le sas et la jupe ; sa difficulté tient à la longueur des opérations souvent incompatible avec la survie prolongée de l'équipage.

La remontée peut se faire sans appareillage pour les faibles profondeurs ; de 15 à 90 mètres le scaphandre autonome est indispensable : son utilisation pose encore quelques problèmes de physiologie fort délicats. L'expérimentation approfondie chez l'animal pourra seule les résoudre : elle rendra légitime et efficace un entraînement méthodique et intensif du personnel, unique garantie du succès en cas de catastrophe.

(1) Pour plus de détails on lira l'article très documenté de R. CHENEVIER : Le sauvetage des sous-marins. *Illustration*, 10 juin 1939, p. 246.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

1° Depuis le *Nautilus* de l'Américain FULTON (1796), la navigation sous-marine a fait d'incessants progrès. En 1888, le *Gymnote*, qui avait résolu en France les problèmes complexes de la plongée, méritait au sous-marin une place dans les Marines militaires. Les grandes nations maritimes possèdent actuellement de nombreux types de sous-marins, depuis les unités de faible tonnage destinées à la défense côtière jusqu'aux véritables croiseurs submersibles dont le déplacement dépasse 4.000 tonnes en plongée.

Les perfectionnements des qualités de la plongée, l'augmentation du tonnage et de l'armement, l'accroissement de la vitesse et du rayon d'action, dus aux progrès du génie naval et de la technique industrielle, n'ont pu être réalisés que lorsque les problèmes physiologiques ont été résolus, problèmes dont les solutions conditionnent les possibilités de vie à bord.

2° Les exigences médicales sont subordonnées aux nécessités militaires des sous-marins, avant tout armes de combat. Toutefois les objectifs militaires sont limités par les besoins physiologiques des effectifs : il est, dès lors, indispensable de développer le bien-être du personnel en même temps que le rendement du matériel.

3° Les problèmes les plus importants, au début, se rapportaient à l'aération et aux procédés de ventilation et de régénération de l'atmosphère en plongée. Ils sont résolus depuis longtemps.

Les méthodes nouvelles de conditionnement de l'air, associant la régénération, le rafraîchissement et l'assèchement, ont doté les sous-marins coloniaux d'un facteur sanitaire de première importance et ont amélioré considérablement le séjour à bord.

L'habitabilité et les aménagements intérieurs ont, dès le début, soulevé des questions délicates d'hygiène : logements, couchage, entretien des locaux, propreté corporelle, évacuation des nuisances ; toutes ont reçu des solutions satisfaisantes.

L'alimentation, par l'adoption de vivres spéciaux dits de croisière et par l'emploi du froid assurant la conservation d'aliments frais, a été réglée au mieux.

4° Le rôle du Médecin embarqué est étendu : il lui faut être à la fois hygiéniste et physiologiste.

Les ressources médico-chirurgicales ont été augmentées : des coffres spéciaux renferment en nombre suffisant médicaments et pansements.

5° Si la vie à bord et les plongées n'ont pas d'influence néfaste sur des organismes sains et robustes, il est cependant d'une nécessité absolue de n'embarquer que des marins indemnes de toute tare physique, psychique ou morale. Les conditions d'aptitude font d'ailleurs l'objet d'une réglementation précise.

6° Sous réserve d'un choix très sévère et d'une surveillance régulière des effectifs, les croisières de longue durée dans les mers chaudes du globe sont compatibles avec un excellent état sanitaire : les rapports médicaux concordent sur ce point.

La création et l'installation, dans les Ports de guerre de la Métropole et des Colonies, de Centres de sous-marins permettent aux équipages de se reposer.

7° Les mesures de sécurité ont été multipliées et rendues très efficaces : les accidents sont devenus rares.

8° La question du sauvetage des équipages de sous-marins naufragés est encore à l'étude. La doctrine du sauvetage individuel s'est imposée dans la plupart des Marines ; le problème technique de l'évacuation est en partie résolu, mais la remontée sans accident se heurte à des difficultés physiologiques très complexes qui ont reçu une solution pour les profondeurs moyennes grâce aux appareils respiratoires autonomes. Des recherches expérimentales et des exercices d'entraînement suivis sont encore nécessaires.

9° L'hygiène à bord, dont le but est de conserver la santé des effectifs et de contribuer efficacement à leur valeur militaire, s'est adaptée sur les sous-marins aux conditions de vie paradoxales et donne pratiquement à l'heure actuelle tout ce qu'on peut raisonnablement lui demander.

Vu :

LE DOYEN,
J. LÉPINE.

Vu :

LE PRÉSIDENT DE LA THÈSE,
J. LÉPINE.

Vu et permis d'imprimer :

Lyon, le 20 Juin 1939.

POUR LE RECTEUR ET PAR DÉLÉGATION,
LE VICE-PRÉSIDENT DU CONSEIL DE L'UNIVERSITÉ,
R. DOUIN

BIBLIOGRAPHIE

PREMIÈRE PARTIE. — HYGIÈNE

ARNOULD. — *Accidents dus à l'hydrogène arsénié* (Thèse de Paris, 1917).

ARNOULD. — Sur l'objet de la ventilation (*Revue d'Hygiène*, 1926, t. XLVIII, p. 344).

AUDIFFREN, pharmacien-chimiste de la Marine. — *Les vitamines dans la Marine* (leçon inaugurale à l'Ecole d'Application de Toulon, 9 janvier 1939).

BELLI (C.-M.). — Considérations hygiéniques sur les navires sous-marins (traduit de l'italien par G. VARENNE) (*Archives de Médecine navale*, 1905, t. LXXXIV, pp. 253-258).

BELLI (C.-M.) et TROCELLO (E.). — Viciations et renouvellement de l'air dans les sous-marins ; recherches expérimentales (traduit de l'italien par G. VARENNE) (*Archives de Médecine navale*, 1908, t. XC, pp. 117-141).

BELLI (C.-M.). — L'hygiène des submersibles (*Annali di Medicina navale e coloniale*, 1922, vol. I, fasc. I-IV ; *Archives de Médecine navale*, septembre-octobre 1922, p. 430).

BLAISON, lieutenant de vaisseau. — L'amélioration scientifique de l'habitabilité des sous-marins ; l'air conditionné (*Revue Maritime*, 1936, I, p. 5).

CARPENTER (D.-N.). — Air conditionné (*U. S. Naval Medical Bulletin*, janvier 1928).

- CAZAMIAN (P.). — Coup de chaleur et « crampes » des chauffeurs (*Archives de Médecine navale*, 1927, t. II, p. 102).
- Médecin-Général CAZAMIAN (P.). — *Hygiène et Prophylaxie dans la Marine de combat*, Paris, Vigot, 1932.
- CHARPENTIER, médecin de la Marine. — Intoxication par les gaz à bord des chasseurs de sous-marins (*Archives de Médecine navale*, 1919, t. CVIII, p. 110).
- DESGREZ et BALTHAZARD. — Nouvelle méthode de régénération de l'air confiné (*Annales d'Hygiène publique et de Médecine légale*, 1902).
- DUCHATEAU, JEAN, PLANTÉ. — *Hygiène navale* (Traité BROUARDEL-MOSNY). Librairie J.-B. Baillière et fils, 1906).
- DUDDING (J.-S.), DUDLEY (S.-F.) et FREDERIK R.-C.). — Intoxications dues à la peinture ; production de l'oxyde de carbone par la peinture dans les compartiments clos (*Journal of the Royal Naval Medical Service*, n° 2 ; *Archives de Médecine navale*, 1932, p. 321).
- GERNY (M.). — Impressions de plongée en sous-marin (*Mer et Colonies*, décembre 1932, p. 10).
- HEDERER, médecin en chef de la Marine. — Recherches expérimentales sur la toxicité des peintures bitumeuses du type Kerbitum ou Neobitum en usage dans la marine (*Archives de Médecine navale*, 1938, t. CXXVIII, p. 961).
- HENRY (M.), pharmacien en chef de la Marine. — Analyse sur place de l'air confiné des atmosphères suspectes (*Archives de Médecine navale*, 1905, p. 309).
- Intoxications professionnelles par la benzine et le benzol. Notes de Médecine pratique (*Presse Médicale*, 28 décembre 1932, p. 1973).
- JEAN (M.-L.), pharmacien-chimiste de 1^{re} classe. — La régénération des atmosphères confinées au moyen de la soude (*Archives de Médecine navale*, 1938, p. 84).
- JONES et MANKIN. — Température à bord des sous-marins (*U. S. Naval Medical Bulletin*, juin 1924, p. 759).
- JULIO. — Le premier sous-marin (*Rev. de Mar. (Chili)*, juillet-août 1934, p. 535).

- LAFOLIE, médecin de la Marine. — Tension artérielle et plongées sous-marines (*Archives de Médecine navale*, 1919, t. CVIII, p. 108).
- LE GAC, médecin de la Marine. — Rapport médical de croisière des sous-marins *Le Glorieux* et *Le Héros* (*Archives de Médecine navale*, 1936, p. 57).
- LOWELL THOMAS. — *Les Corsaires sous-marins* (traduit de l'anglais par P. REVOIL et R. JOUAN), Payot, Paris, 1930.
- MACKLIN et HUSSEY. — Les vitamines à bord des sous-marins (*The Lancet*, 13 août 1921).
- MALAVOY, médecin de la Marine. — Rapport médical de croisière des sous-marins *Protée* et *Actéon* (*Archives de Médecine navale*, 1937, p. 99).
- MICHELSSEN (Andreas). — *La Guerre sous-marine* (1914-1918) (traduit de l'allemand par R. JOUAN), Payot, Paris, 1928.
- MONASTEREV, capitaine de Frégate. — *Le navire sous-marin*, Aux Nouvelles éditions latines, Paris, 1935.
- Orientation (L') de l'évolution du sous-marin dans les grandes marines (*Revue Maritime*, 1936, I, p. 372).
- PRYOR. — *Naval Hygiène*, Philadelphie, 1918.
- QUÉRANGAL DES ESSARTS (J.), médecin de la Marine. — Notes sur quelques cas d'intoxication due à l'emploi de préparations dites bitume-mastic à bord des navires de guerre (*Archives de Médecine navale*, 1932, p. 235).
- REGNAULT (J.), médecin de la Marine. — Aptitude physique pour le service à bord des sous-marins (*Archives de Médecine navale*, 1905, t. LXXXIV, p. 161).
- RIDEAU, médecin de la Marine. — Considérations hygiéniques sur l'escadrille des sous-marins de Bretagne (*Archives de Médecine navale*, 1919, t. CVIII, p. 94).
- RIVERA. — Les conditions sanitaires à bord des sous-marins (*Rev. de Mar.*, décembre 1931, p. 871).
- RYSKI (Carlo de). — Les submersibles pendant la guerre mondiale (*Italia Marinara*, octobre 1935, p. 364).

- ROCHARD (J.), et BODET (D.). — *Traité d'Hygiène, de Médecine et de Chirurgie navales*, 1896.
- SAUER (H.). — *L'Enfer sous l'eau ; le sous-marin UC-55 dans la guerre mondiale*, Payot, Paris, 1930.
- S. C. SHAW (Thomas) et S. L. C. GERRARD (William). — Effets physiologiques des plongées (*Journal of the Royal Medical Naval Service*, octobre 1924).
- SHELDON (F.), DUDLEY. — Intoxication par l'hydrogène arsénié à bord des sous-marins (*Journal of the Royal Naval Medical Service*, juillet 1919 ; *Archives de Médecine navale*, 1919, t. CVIII, p. 315).
- SPIESS (J.). — *Six ans de croisières en sous-marin* (traduit de l'allemand par H. SCHRICKF), Payot, Paris, 1929.
- UGO REITANO. — Intoxication benzinique (*Giornale di Medicina militare*, octobre 1930 ; *Archives de Médecine navale*, 1931, p. 514).
- VALENTINER (Max). — *La Terreur des mers* (traduction de P. TEILLAC), Payot, Paris, 1931.

DEUXIÈME PARTIE. — SAUVETAGE

De très nombreux articles ont paru sur la question du sauvetage. Nous donnons ici les références des plus récents et de ceux qui nous ont semblé résumer le mieux les préoccupations des différentes Marines. Nous nous excusons des oublis inévitables.

- Accident du sous-marin. — Quelques cas de sauvetage (*Revue Nautique*, septembre 1928, p. 27).
- ACHARD (Ch.), BINET (L.) et LEBLANC (A.). — Sur la mort en atmosphère suroxygénée (*C. R. Acad. des Sciences*, t. CLXXXIV, p. 771, 31 mars 1927). — Recherches sur les effets biologiques des milieux suroxygénés (*Journal de Physiologie et de Pathologie générale*, t. XXV, n° 3, p. 489, 1927).

- ADAMS (B.-H.). — Observations sur l'entraînement au « poumon sous-marin » (traduction de PLOYÉ) (*Archives de Médecine navale*, 1932, p. 309).
- ANDRÉ (L.), médecin de la Marine. — Le problème du sauvetage de l'équipage d'un sous-marin. — Conférence faite aux médecins de réserve, cours de perfectionnement, Bordeaux, 18 novembre 1935 (*Archives de Médecine navale*, 1934, p. 111).
- BELLONI. — Un nouvel appareil respiratoire sous-marin (*Riv. Maritt.*, octobre 1929, p. 63).
- BELLONI. — Le sauvetage sous-marin par transbordement à pression constante (*Riv. Maritt.*, décembre 1929, p. 334).
- BOUNHOL. — Respiration en milieux suroxygénés (*C. R. Acad. des Sciences*, t. CLXXXVIII, p. 1340, 1929 ; *C. R. de la Soc. Biol.*, t. CI, p. 684, 1929).
- BROWN (E.-W.). — Shock dû à la distension excessive des poumons au cours de l'entraînement avec l'appareil de sauvetage (traduction de PLOYÉ) (*Archives de Médecine navale*, 1932, p. 304).
- CAPUT (Giuseppe). — Sécurité et sauvetage des sous-marins (*Riv. Maritt.*, mars 1937, p. 48).
- CASSAËT. — *De la Pathogénie des Accidents de l'air comprimé* (Thèse de Bordeaux, 1886).
- Médecin-Général CAZAMIAN. — Plongées en scaphandre ; hygiène du scaphandrier ; prophylaxie et traitement des accidents (*Archives de Médecine navale*, 1927, I, p. 105).
- Médecin-Général CAZAMIAN. — Le sauvetage du personnel des sous-marins naufragés (*Revue Maritime*, 1935, I, p. 725, et 1935, II, p. 49).
- CHENEVIER (R.). — Le sauvetage des sous-marins (*Illustration*, 10 juin 1939, p. 246).
- COPE. — Les exercices de sauvetage à l'Ecole sous-marine américaine (*Un. Stat. Inst. Proc.*, novembre 1932, p. 1610).

- COURMONT (J.), LESIEUR (Ch.), et ROCHAIX (A.). — *Précis d'hygiène*, Masson, Paris, 1932 (voir chapitre : *Air comprimé (Travail dans l')*).
- DAMANT (Capitaine G.-C.-G.). — La plongée en grande profondeur (*Journal Royal Un. Serv. Inst.*, mai 1937, p. 315).
- DESFOSSÉS (P.). — Un important problème de physiologie : comment sortir d'un sous-marin coulé (*Presse Médicale*, 14 septembre 1932, p. 1408).
- DORELLO (F.). — L'auto-respirateur d'immersion, moyen de sortir du sous-marin coulé (*Riv. Maritt.*, supplément technique, juillet-août 1938, p. 49).
- DRAKSLER. — Le sauvetage des sous-marins coulés : *Mornaricki, Glasnik* (*Revue de la Marine Yougoslave*, janvier-février 1934, p. 32).
- DU BOIS. — Accidents des sous-marins : prolongation de la plongée (*Naval Medical Bulletin*, juillet 1928).
- Expériences de sauvetage d'équipages de sous-marins (*Illustration*, 9 mars 1929, p. 253).
- GAVRILOF. — Le sauvetage des sous-marins à toutes profondeurs (*Bol. del Centro Nav.*, mai-juin 1934, p. 59).
- GEMY (M.). — Le sauvetage des sous-marins (*Mer et Colonies*, juin 1934, p. 8).
- GENOVA. — Le sauvetage des équipages de sous-marins au moyen de l'ascenseur sous-marin (*Revue générale de Marine*, janvier 1935, p. 14).
- GENOVA. — L'ascenseur sous-marin (*Revue générale de Marine*, juin 1935, p. 807).
- GEROLAMI (Ermanno). — Le sauvetage autonome en sous-marin (*Riv. Maritt.*, février 1937, p. 201).
- GUGLIELMINETTI. — Expériences de suppression chez des animaux (*Génie Civil*, 3 octobre 1931, t. XCIX, n° 14, p. 340).
- HOPKINS (R.) et CHILLINGWORTH (F.-P.). — Modifications physiologiques produites par les variations de distension pulmonaire ; utilité de la circulation pulmonaire pour

surmonter l'obstruction (*Amer. Journal physiology*, 51, 289, mars 1920).

JELlicOE (Adm. of the Fleet Earl). — *The submarine peril*, Londres, Cassel

JOHNSTON (J.). — Appareil Davis pour sauvetage sous-marin (*Journal of the Royal Naval Medical Service*, janvier 1931 (traduit par PLOYÉ) ; *Archives de Médecine navale*, 1931, p. 399).

KOZIOLKOWSKI (J.). — La plongée en profondeur (*Przegląd Morski*, n° 117, p. 988).

LAUBEUF. — Les moyens de sauvetage des sous-marins (*Génie Civil*, 25 février 1928, p. 193).

LÉPINE (Jean). — *Etude sur les hématomyélies* (Thèse de Lyon, 1900).

L. P. — La nouvelle cloche de sauvetage pour sous-marins (*Rev. Ind.*, novembre 1932, p. 532).

LESTONNAT. — Le sauvetage à bord des sous-marins (*Illustration*, 20 septembre 1930, p. 77).

LORRAIN SMITH (J.). — The pathological effects due to increase of oxygen tension in the air breathed (*The Journal of Physiology*, vol. XXIV, p. 19, 1899).

MAC CLATCHIE (L.-K.). — Considérations médicales sur l'entraînement à l'emploi du « poumon » sous-marin (*United States Naval Medical Bulletin*, avril 1932 (traduit par PLOYÉ) ; *Archives de Médecine navale*, 1932, p. 292).

MANKIN (G.-H.). — Individual Submarine Escape (*U. S. Naval Medical Bulletin*, vol. XXVIII, n° 1, janvier 1930, p. 18).

MUNRO. — Le sauvetage du sous-marin M-2 (*Engineer*, 11 novembre 1932, p. 475).

PAUL BERT. — *La Pression Barométrique*, Paris, 1878.

PEDRILLO. — Le sauvetage du personnel des sous-marins au moyen de l'ascenseur sous-marin (*Riv. Maritt.*, avril 1935, p. 81).

PHILLIPS, Lt Commander. — La chambre-relais (*Journal of the Royal Army Medical Corps*, July 1932).

- POLAK (B.), Lt Commander Medical Corps. — Embolie traumatique d'air en cours d'entraînement de sauvetage à bord des sous-marins (*United States Naval Medical Bulletin*, avril 1932 ; *Archives de Médecine navale*, 1932, p. 313).
- Progrès du sauvetage sous-marin (Les) (*Scient. Amer.*, mars 1930, p. 209).
- ROSENSTIEL, médecin de la Marine. — Problèmes physiologiques soulevés par les essais de sauvetage à bord des sous-marins (*Presse Médicale*, 15 février 1933).
- RUEDA. — Le sauvetage individuel sur les sous-marins (*Rev. gén. de Mar.*, avril 1930, p. 729).
- SAUVAIRE-JOURDAN (Commandant). — Comment sauver l'équipage d'un sous-marin coulé (*Nature*, 1^{er} juin 1932, p. 488).
- Sauvetage du *Poseidon* (Le). — (*Rev. de Mar.* (Chili), août 1932, p. 536.)
- Sauvetage des équipages des sous-marins coulés (Le). — (*Bull. Tech. gén. Mar.*, 11, p. 165.)
- Sauvetage du personnel des sous-marins coulés (Le). — (*Revue Maritime*, janvier 1935, p. 96.)
- Sauvetage du *Squalus* (Le). — (*Illustration*, 3 juin 1939, p. 175.)
- SORIA (G.). — Peut-on renflouer les sous-marins ? (*Le Monde Illustré*, 10 août 1935, p. 685).
- SPAULDING. — Les débuts du sauvetage sur le S-51 (*Un. St. Nav. Inst. Proc.*, mars 1936, p. 329).
- THISTLE-NA. — L'ascenseur sous-marin A. GENOVA (*Vida Mar.*, 30 octobre 1931, p. 318).
- WALTHER. — Les accidents de sous-marins et les plongeurs en eau profonde (*Mar. Rundsch.*, août 1930, p. 344).
- WENCK. — Les pontons et le sauvetage des sous-marins (*Tidsskr. f. Soevaesen*, août 1930, p. 427).

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	1
------------------------	---

PREMIÈRE PARTIE. — GÉNÉRALITÉS

CHAPITRE PREMIER. — <i>Histoire résumée de la navigation sous-marine.</i>	7
---	---

Les Précurseurs.	7
La <i>Tortue</i> de BUSCHNELL	8
Le <i>Nautilus</i> de FULTON.	9
Le <i>Brandtaucher</i> et le <i>Diable marin</i>	10
Le <i>Plongeur</i>	11
Les sous-marins <i>David</i>	11
Les sous-marins électriques de DRZEWIECKI.	12
Les sous-marins à vapeur de NORDENFELD	12
Le <i>Gymnote</i>	13
Le <i>Gustave-Zédé</i>	13
Le concours de 1896	14
Le <i>Narval</i>	15
Sous-marins et submersibles	16
Les sous-marins et la Guerre de 1914-1918	17

CHAPITRE II. — <i>L'hygiène à bord des sous-marins jusqu'à la fin de la Guerre</i>	19
--	----

1 ^o Jusqu'à la Grande Guerre	19
Aération et régénération de l'atmosphère	20
Conditions générales de vie à bord.	20
Aptitude physique	22
Accidents	22

2 ^o Etude médicale des sous-marins de la Guerre.	25
Le service à bord	25
Habitabilité et hygiène générale.	30
Sauvetage	31
CHAPITRE III. — <i>Le sous-marin moderne.</i>	33
Définition	33
Armement des sous-marins. Moyens d'attaque. . .	34
Les ennemis des sous-marins. Moyens de défense. .	35
Schéma général d'un sous-marin.	36
Fonctionnement	39
Organisation	41
Etat actuel de la navigation sous-marine.	42

DEUXIÈME PARTIE. — CONDITIONS PHYSIOLOGIQUES
DE VIE A BORD DES SOUS-MARINS

CHAPITRE PREMIER. — <i>L'atmosphère intérieure des sous-marins.</i>	49
1 ^o Cubage utile	50
2 ^o Modifications de l'atmosphère intérieure	52
A. — Viciations d'origine humaine.	52
Emanations diverses	52
Echanges respiratoires.	54
B. — Viciations provenant du matériel et des machines. . .	57
Moteurs Diesel	58
Huiles de graissage	59
Batteries d'accumulateurs	59
Hydrogène	60
Hydrogène sulfuré.	60
Hydrogène arsénié.	61
Hydrogène antimonié	62
Anhydride sulfureux	63
Chlore	63

Peintures	66
Production d'oxyde de carbone par les peintures	66
Viciations atmosphériques par le bitume-mastic	67
Détection des gaz	68
C. — Altérations d'ordre physique.	70
Pression de l'atmosphère	70
Thermométrie	75
Elévation de la température	75
Abaissement de la température	76
Résultats. Mesure de la température intérieure.	77
Hygrométrie	80
Chaleur et humidité	82
Odeurs	85
D. — Viciations d'ordre bactériologique.	87
3° Assainissement de l'atmosphère.	89
Aération et ventilation.	90
A. — Au mouillage et en surface.	90
Aération	90
Ventilation	92
Buts et conditions de la ventilation en surface.	92
Schéma général de la ventilation.	93
Manches de ventilation.	93
Ventilateurs.	93
Réseau de ventilation	94
Distribution de la ventilation.	94
Ventilation du compartiment des Diesels.	96
Ventilation du compartiment des moteurs élec-	
triques.	97
Ventilation du compartiment des accumulateurs	98
Nécessité	98
Principe et réalisation	99
Contrôle de la ventilation des accumulateurs	101
Considérations diverses. Conclusions.	104
B. — Assainissement de l'atmosphère en plongée	104
Ventilation	105
Régénération de l'air.	106

Absorption de l'acide carbonique	107
Procédés anciens	107
Oxylithe	108
Absorption de CO ² par la soude (D ^r Tissot)	109
Procédés actuels	109
Boîtes et clarinettes à soude	110
Utilisation des boîtes à soude. Rendement	112
Lois d'action des boîtes à soude.	114
Conclusions	115
Régénération de l'oxygène	116
Procédés anciens	116
Procédés actuels	117
Utilisation de l'oxygène	119
Mise en jeu des procédés de régénération.	119
Les trois phases de la plongée.	121
La première phase.	121
La deuxième phase	121
La troisième phase	121
Bases de l'approvisionnement	122
Pour les boîtes à soude	122
Pour l'oxygène à la pression atmosphérique.	122
Résultats obtenus au cours de plongées de longue durée	123
4 ^o Air conditionné.	129
Bases physiologiques	129
Représentation graphique.	130
Nécessité d'une ambiance confortable.	132
Description de l'installation.	133
Fonctionnement	136
Action sur l'atmosphère du sous-marin.	138
1 ^o A la mer, en surface	138
2 ^o En plongée.	140
3 ^o Au mouillage.	140
Conséquences physiologiques. Conclusions.	143
CHAPITRE II. — <i>Habitabilité et hygiène commune.</i>	145
1 ^o Logement et couchage.	145
Logement des officiers.	146
Chambres.	146
Carré.	148
Office.	148

Logement des officiers-mariniers	148
Logement de l'équipage. Postes	149
Couchage	150
Caissons	153
Habitabilité. Conclusions.	153
2° Propreté du bâtiment	154
3° Chauffage et éclairage	155
Chauffage	155
Eclairage	156
4° Habillement	157
5° Propreté corporelle	159
Lavabos	160
Douches	161
Baignades	163
Coiffeur	163
6° Lavage du linge	163
7° Lutte contre les rats	164
8° Nuisances	166
Ordures ménagères	166
Lieux d'aisances	167
CHAPITRE III. — <i>Alimentation</i>	171
1° Vivres	171
Bases de l'approvisionnement	171
Vivres frais	172
Vivres CARISSAN	173
Composition des vivres CARISSAN.	174
La question des vitamines	176
Considérations diverses. Conclusions	180
Vivres de secours ou de prévoyance	182
Pain.	182
Vin et produits divers	183
Vin	183
Lait	184
Tafia.	184

2° Eau de boisson.	185
Approvisionnement d'eau douce	185
Conservation, caisses à eau	185
Distribution	186
Collecteur.	186
Caisses de relais.	186
Fontaines d'équipage.	187
Surveillance et stérilisation de l'eau douce.	187
Eau distillée.	188
3° Logement des vivres. Installations frigorifiques et culi- naires	189
Cambuse.	189
Installations frigorifiques	190
Cuisines	192
Cuisine de surface	192
Cuisine de plongée.	193
Cuisiniers	194
Repas à bord	195

TROISIÈME PARTIE. — CONSÉQUENCES MÉDICALES DE LA VIE A BORD DES SOUS-MARINS

CHAPITRE PREMIER. — <i>Physiologie des plongées.</i>	201
Appareil cardio-vasculaire.	201
Voies respiratoires	203
Système nerveux	203
Organes des sens	204
CHAPITRE II. — <i>Etude pathologique des conditions de vie à bord des sous-marins.</i>	207
1° Affections chirurgicales	208
Suppurations.	208
Otites. Conjonctivites	208
Caries dentaires	209
Traumatismes	210

2° Affections médicales.	210
Maladies des voies respiratoires	210
Troubles digestifs.	212
Intoxications.	212
Hydrocarbures	213
Peintures	214
Fatigue générale	218
Mal de mer	219
Troubles divers.	221
Tuberculose	221
3° Croisières en pays chauds	222
Etat sanitaire en général	222
Prophylaxie palustre	225
Maladies vénériennes	226
4° Conclusions.	227
 CHAPITRE III. — <i>Ressources médico-chirurgicales.</i>	231
Personnel médical	231
Installations sanitaires	233
Service médical à la mer	233
Evacuation des blessés et malades	234
Matériel médico-chirurgical	234
 CHAPITRE IV. — <i>Logements à terre.</i>	237
Station au Centre des sous-marins.	237
Service au mouillage	237
Loisirs. Distractions.	238
 CHAPITRE V. — <i>Aptitude physique au service des sous-marins.</i> . .	239
Réglementation.	239
Officiers de marine et ingénieurs-mécaniciens .	239
Officiers marinières, quartiers-maîtres et marins.	240
Examens médicaux et surveillance des effectifs. .	241
Prophylaxie de la tuberculose.	242

QUATRIÈME PARTIE
ACCIDENTS. SÉCURITÉ. SAUVETAGE.

CHAPITRE PREMIER. — <i>Accidents. Dispositifs de sécurité.</i>	249
Voie d'eau.	249
Explosion et incendie.	251
Electrocution.	253
Accidents de navigation.	254
Prolongation de la plongée, survie de l'équipage	254
Renflouage du bâtiment.	256
CHAPITRE II. — <i>Sauvetage individuel.</i>	261
Historique	261
Principes du sauvetage individuel.	264
A. — Evacuation	264
Sas de scaphandrier.	264
Jupe télescopique.	266
B. — Remontée.	268
Bases physiologiques	268
Séjour dans l'air comprimé.	269
Décompression. Ses dangers.	271
Règles de décompression	272
Appareils respiratoires autonomes	274
Appareil DAVIS. Description	275
Mode d'emploi	278
Etude physiologique des appareils respiratoires .	279
Entraînement individuel	280
Accidents observés au cours des exercices de	
sauvetage	282
Accidents dus à l'emploi de l'oxygène. . . .	287
C. — Etude pratique de la remontée.	289
A moins de 15 mètres	289
A plus de 15 mètres	289
De 90 à 200 mètres	290

CHAPITRE III. — <i>Autres dispositifs de sauvetage.</i>	293
Ascenseur sous-marin	293
Issue par tube lance-torpilles	293
Appareil BELLONI.	294
Cloche de sauvetage	294
Conclusions sur le sauvetage	296
CONCLUSIONS GÉNÉRALES	297
BIBLIOGRAPHIE	301

Imp. A. REY, Lyon. — 120.510
